

環境保全と照明システム

環境保全のための照明システム研究調査委員会報告書

平成 9 年 3 月

社 団 法 人 照 明 学 会
環境保全のための照明システム研究調査委員会

目次

第 1 章	緒論	1
1.1	はじめに	1
1.2	委員会の構成	2
1.3	委員会の開催	3
第 2 章	概説	4
2.1	化学物質の地球規模でのゆくえとその生態系への影響	4
2.1.1	はじめに	4
2.1.2	化学物質挙動の場としての環境	4
2.1.3	化学物質の環境でのゆくえ	5
2.1.4	有機塩素化合物の地球環境でのゆくえ	5
2.1.5	有機塩素化合物の生物蓄積	6
2.1.6	有機塩素化合物の生態系への影響	7
2.1.7	化学物質毒性の新展開	8
2.2	環境と照明システム	8
2.2.1	大気汚染の問題	9
2.2.2	海洋汚染・水質汚濁の問題	11
2.2.3	廃棄物処理の問題	11
第 3 章	照明システムの現状と問題点	23
3.1	光源	23
3.1.1	概説	23
3.1.2	白熱電球・ハロゲン電球	24
3.1.3	蛍光ランプ	26
3.1.4	HID ランプ	31
3.2	照明回路	33
3.2.1	照明回路の現状	34
3.2.2	照明回路における環境上の課題	34
3.3	照明器具	35
3.3.1	照明器具の働きと構成	35
3.3.2	照明器具の構成材料	35
第 4 章	使用済み製品処理の現状と問題点	69
4.1	使用済み製品処理の現状と問題点	69
4.2	関連法体系	69
4.2.1	再生資源の利用の促進に関する法律	70

4.2.2	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	70
4.2.3	容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律	71
4.2.4	環境管理・監査の国際規格 (ISO 14000) の動向	72
4.3	使用済み照明システムの回収の現状と問題点	72
4.4	使用済み照明製品処理の現状と問題点	73
4.4.1	蛍光ランプ・HID ランプ	74
4.4.2	照明器具類	75
4.5	材料の再利用及びリサイクル技術の現状	76
第 5 章	環境保全のための照明システムの動向	98
5.1	光源の技術開発動向	98
5.1.1	白熱電球・ハロゲン電球	98
5.1.2	蛍光ランプ	101
5.1.3	HID ランプ	103
5.1.4	その他の光源	108
5.1.5	海外の法規制の動向	108
5.2	照明回路 (点灯装置)	109
5.2.1	環境影響物質の削減動向	109
5.2.2	省エネルギー・省資源化	110
5.3	照明器具	110
5.3.1	有害物減少への取り組み	110
5.3.2	廃棄物対策	111
5.3.3	省エネルギーへの取り組み	111
5.3.4	社会システムの確立	112
5.4	照明材料	112
5.4.1	水銀	112
5.4.2	蛍光体	117
5.4.3	はんだ	122
5.4.4	その他の材料	130
第 6 章	委員会提言	177
第 7 章	むすび	178
付録	光源および光源記号	179

執筆者

化学物質のゆくえと影響	立川
環境保全と照明システム	青野
ランプ全般	伊藤
白熱電球	竹村
蛍光ランプ	大喜多、西村
HID ランプ	稲垣、岡田
照明器具、照明回路	中川、松島、堀井
照明材料	石崎、一ノ宮、岩間、松岡
使用済み製品	大島

第 1 章 緒論

1.1 はじめに

人工衛星から撮影した暗黒の宇宙に浮かぶ青く美しい地球の写真がある。宇宙飛行士アーウィン¹⁾は、宇宙から地球を見たときの感動を次のように述べている。「地球を見ると、宇宙の闇に浮いているクリスマスツリーの飾り玉を思い出した。遠ざかっていくにつれて、地球は小さくなって、とうとうビー玉ほどに縮んでしまった。美しく暖かく、そして生きている。それは非常に脆くてこわれやすく、指を触れたら粉々に砕けて散ってしまいそうだった。」¹⁾

地球上に立って人間の低い視線から眺める大地は、人間活動の全てを受容してくれていそうに錯覚してしまう。実際の地球は、太陽からのエネルギーの供給を除くと宇宙に浮かぶ自己保存形の惑星であり、自浄と再生の能力を越える負荷には耐えきれない生き物である。人類は、絶えず快適な生活を追い求めてきた。特に、18世紀の産業革命以後、物質文明が飛躍的に向上し、空間的・時間的に活動の規模が拡大し、その結果、構築されたのが大量生産・大量消費・大量廃棄社会である。従来、その社会から排出される残滓をほとんど、そのまま投棄してきたため、近年、地球上のあちこちに環境破壊・環境汚染として綻びが目立ち始めた。地球が病み始めたことに気付いた人間は、「青い美しい地球を後世に残すために真剣にその救済方法を考え始めた」と言うのが現状ではないだろうか。この地球は、現代に生きる我々だけの所有物でなく、次の世代の人類、いや、地球上のすべての生き物が快適に住む権利を有するかけがえのないものである。したがって、現代に生きる我々が未来に美しい地球を引き継ぐ責任がある。

照明は、本来の明かりを提供するものとしてのみならず、感性に訴えて日常生活に潤いと憩いを与えてくれるものとして、現在の我々には必要不可欠なものになっている。照明システムの廃棄物量は、わが国の廃棄物の総量のわずか0.08%であって、現在のところそれが環境に大なる負荷をかけているとは思われない。しかし、1879年にエジソンが世界で初めて1個の電球を灯してから約115年後の1994年には、わが国のランプ生産個数は、自動車用小形電球等を含め約26億個に達していて、それだけ環境への負荷を大きくしていることは否めない。

(社)照明学会では、快適な人間活動と健全な地球を維持して行くために、照明システム(光源、照明器具、始動・点灯回路、光源用・器具用・回路用材料)の環境への負荷の現状、ならびに、地球に負荷をかけない照明システムを研究・調査する目的で本委員会を設置した。委員会は、3年間にわたり活動を行い、ここにその成果を報告書としてまとめた。

1) 竹内均監修：“地球/母なる星”、小学館、1989年、38頁

1.2 委員会の構成

(五十音順)

委員長	青野正明	愛媛大学工学部電気電子工学科助教授
幹事	石崎有義	東芝ライテック株式会社研究所研究第二担当部長
同	岩間克昭	松下電子工業株式会社照明事業部経営企画部副参事
同	大島照雄	野村興産株式会社業務部次長
委員	一ノ宮敬治	日亜化学工業株式会社第一部門第一開発部部長
同	伊藤清之助	社団法人日本電球工業会専務理事
同	稲垣富樹	日本電池株式会社照明器工場課長
同	岡田淳典	松下電工株式会社光源技術センター主査技師
同	大喜多孝治 ^{*1}	株式会社日立製作所熱器ライティング本部青梅本部
同	清水隆夫 ^{*2}	株式会社日立製作所熱器ライティング本部青梅本部
同	竹村哲	ウシオ電機株式会社技術研究所応用開発部
同	立川涼	高知大学学長
同	中川尚人	日立照明株式会社施設用事業部開発グループ主任技師
同	西村慶一 ^{*1}	日本電気ホームエレクトロニクス株式会社 ライティング事業部課長
同	堀井滋	松下電器産業株式会社研究本部照明研究所リーダー
同	松岡幹彦	岩崎電気株式会社技術開発本部品質保証部課長
同	松島勇作	社団法人日本照明器具工業会専務理事
同	村上勝男	オスラムメルコ株式会社研究開発部次長
同	山内武志 ^{*2}	日本電気ホームエレクトロニクス株式会社

*1:平成7,8年度委員

*2:平成6年度委員

1.3 委員会の開催

平成 6 年度

第 1 回委員会	平成 6 年 7 月 15 日 (金)	13:30~16:30	電気倶楽部会議室
第 2 回委員会	平成 6 年 9 月 28 日 (水)	13:30~16:30	電気倶楽部会議室
第 3 回委員会	平成 6 年 12 月 8 日 (木)	13:00~17:00	大阪中央倶楽部会議室
第 4 回委員会	平成 7 年 2 月 17 日 (金)	14:00~16:30	大阪中央倶楽部会議室

以上 4 回

平成 7 年度

第 5 回委員会	平成 7 年 4 月 19 日 (水)	13:30~16:00	照明学会第 1 会議室
第 6 回委員会	平成 7 年 6 月 30 日 (金)	13:30~16:00	照明学会第 1 会議室
第 7 回委員会	平成 7 年 9 月 13 日 (水)	~ 14 日 (木)	野村興産 イトムカ鋳業所
第 8 回委員会	平成 7 年 11 月 10 日 (金)	14:00~16:30	大阪中央倶楽部会議室
第 9 回委員会	平成 8 年 1 月 25 日 (木)	13:30~16:00	照明学会第 1 会議室

以上 5 回

平成 8 年度

第 10 回委員会	平成 8 年 4 月 19 日 (金)	13:30~16:30	大阪中央倶楽部会議室
第 11 回委員会	平成 8 年 7 月 10 日 (水)	13:30~17:00	照明学会第 1 会議室
第 12 回委員会	平成 8 年 9 月 19 日 (木)	13:30~17:00	照明学会第 1 会議室
第 13 回委員会	平成 8 年 10 月 30 日 (水)	13:00~17:00	照明学会第 1 会議室
第 14 回委員会	平成 8 年 12 月 12 日 (木)	13:30~16:30	蔵前工業会館会議室
第 15 回委員会	平成 9 年 1 月 20 日 (月)	9:00~16:30	四国電力 高知支店別館 会議室
第 16 回委員会	平成 9 年 2 月 19 日 (水)	13:30~16:00	照明学会第 1 会議室

以上 7 回

以上の計 16 回の委員会の開催に加え、幹事会を 4 回開催した。

第 2 章 概説

2.1 化学物質の地球規模でのゆくえとその生態系への影響

2.1.1 はじめに

20 世紀は「化学の世紀」とも言われるほど膨大な種類と量の化学物質を生産・利用してきた。化学物質は人間生活の利便性や快適性を向上させただけでなく、安全や健康の面でも大きな貢献をしてきた。しかし、一部の化学物質がヒトを含む生態系や地球環境に死を含む深刻な影響をあたえたことも否定できない事実である。化学物質の利便性を考えればこれを否定することは賢明ではない。課題は化学物質を安全に使いこなす、技術と社会システムの構築であろう。そして、それを支える基礎的・科学的研究である。

今日まで、化学物質の環境でのゆくえや生態系における動態については、かなりよくわかってきたといえるが、化学物質の毒性については、課題の広範、複雑さのゆえにとても十分な答をもっているとは言いかねる。化学物質の毒性、あるいは安全規制は、これまでは医学—ヒトの健康—の立場で研究乃至は対策が行われてきた。しかし、今日の地球環境問題の進展はヒトはヒトのみで生きてゆくことは不可能であり、ヒトを含む生態系全体の安全なくしては、ヒトの安全もありえないとの考え方が次第に定着しつつある。つまり、ヒトの健康から、エコシステムの健全さ、保全へのパラダイムシフトが求められている。こうした新しい状況に対して、基礎的・科学的情報は残念ながら乏しいのが現状である。

本章では、比較的、研究の進展している化学物質の環境動態を中心に概観する。商業生産されている化学物質は 10 万種をこえると推計されている。製造、使用、廃棄の過程で副成し、あるいは二次的分解・代謝産物を含めれば、この数はさらにふえる。ここでは、環境や生体(態)で分解されにくく、残留性にとみ、生体に濃縮・高蓄積されやすい物質群をとりあげる。大別すれば、水銀や鉛など重金属類と、ダイオキシン、PCB などの有機塩素化合物(図 2.1)に分けられるが、小論では後者について主として述べる。

2.1.2 化学物質挙動の場としての環境

環境は大気、水、土壌(底質)の三相からなり、三者は相互に関係し、影響しあう。

大気は輸送・拡散の場である。一旦、化学物質が開放大気中に入れば、速やかに拡散、長距離輸送される。チェルノヴィリ原発事故の放射能汚染は 3 週間で地球を一周している。大気は汚染を拡散・広範化するが、当然のことながら濃度は低下し、また均一化する。フロンは先進工業諸国を中心に大量に使用されているが、大気中のフロン濃度は全球的に均一である。一般に、化学物質は大気中で分解されにくい、一部の化学物質は太陽紫外線エネルギーによる光化学的分解を受ける。フロンのオゾン破壊反応は好例である。

大気に対極にあるのは土壌である。土壌は無機コロイド、腐植有機物など複雑な組成と微細構造をもち、1gの土壌でも驚くような広い表面積をもっている。従って、土壌は化学物質の吸着保持の場であり、化学物質は局在する。農耕地土壌の農薬濃度などは一枚の田畑中で、場所により何ヶタもの濃度差を生ずる。一般に土壌に保持された化学物質は長時間そこにとどまり、局所的に高濃度の場合には生態系に複雑な影響をあたえる。さらに、土壌は生物活性のきわめて高い場でもある。良好な土壌は1g中に50億の微生物が生息している。多くの化学物質は、多少ともこの微生物による分解消失が期待できる。ところが、ダイオキシンや一部のPCB化合物は微生物に耐性があり、土壌中に長期に残留する。土壌に残留する化学物質は、その水溶解度に従って、土層中の水の移動とともにゆっくり輸送されたり、地表から大気中へ揮散する。また、土壌から植物への吸収もある。

水は、大気にくらべると遅いが輸送の場でもある。何とんでも水の特徴はその化学物質の溶解力である。水に溶けた化学物質は直接呼吸系から、また食物連鎖を通して生体に蓄積濃縮される。地球上の生物で重金属や有機塩素化合物を最高度に保持しているのは海洋生態系における哺乳動物、とくに動物食の哺乳動物である。イルカ、アザラシはその例であり、例えば著者らは地中海のスジイルカで脂肪組織中に3000ppmをこすPCBを検出している(日本人の体脂中のPCB濃度は約1ppm)。哺乳動物を食べるシャチやホッキョクグマなどにも異常な高濃度が検出されることはまれではない。ついでながら、ヒトの乳児はヒトを食べるヒトであり、食物連鎖の最高次に位置している。母乳の安全性について関心と懸念が高いのは当然である。

2.1.3 化学物質の環境でのゆくえ

難分解で生物蓄積性の化学物質の環境動態と生物蓄積性は、化学物質の水溶解度と蒸気圧を知れば、おおよそ推定が出来る(図2.2)。

PCBやダイオキシンは、砂糖や食塩が水に溶ける、アルコールが臭うといったレベルでは、全く水に溶けない、ガス化しないといえる。常識的には水に不溶、不揮発性の化合物である。しかし、きわめて僅かではあっても水には溶け、またガス化する。食塩の水溶解度は%レベルだが、ここで論じている有機塩素化合物の水溶解度はppmレベル、場合によってはppb、さらにはそれ以下のこともある。

一般に水に難溶性の有機塩素化合物の中では、分子量が小さく、塩素含量の低い化合物ほど、水溶解度も蒸気圧も高い。つまり、化学物質の使用点から、大気への揮散、水への溶解・拡散がおきやすい。また土壌粒子など固相への吸着も水溶解度と逆の関係にある。有機塩素化合物は生体の脂肪組織に蓄積する。脂溶性は水溶解性と逆の関係にあるので、水に難溶なほど脂溶性にとみ、生体に蓄積することとなる。

2.1.4 有機塩素化合物の地球環境でのゆくえ

陸上で使用されたPCBや農薬DDTは水に溶けたり分散して河川を經由して海に運ばれ、また空気中にガスや微粒子として放出され風によって海に運ばれる。沿岸海域では河川からの流入が大きいところもあるが、外洋への遠距離輸送はすべて大気経由で、しかもガス状で行われる。大気経由の拡散は大変速度が速く短時日のうちに地球規模に及ぶ。

南極の水やウェッデルアザラシ、アデリーペンギンに発見されている PCB や DDT も大気経由で運ばれたものである (図 2.3)。

大気によって外洋まで運ばれた有機塩素は大気から海水表面に溶け込み、また雨によっても海水中に供給される。一度海水中に溶け込んだ有機塩素化合物は、海水中のプランクトンや生物の遺体、排泄物などの微粒子の表面に吸着され、微粒子の沈降とともに深海へ運ばれる。この吸着の程度も溶解度から推定できる。溶解度の低い物質ほど吸着され易く、従って表面海水から比較的速やかに消失する。しかも海水中の微粒子の量は基本的には一次生産力で決まる。一次生産力の高い北洋や南極海のような冷水域では、それが低い熱帯海域にくらべ、表面海水中での有機塩素の寿命 (平均滞留時間) は短くなる。どの有機塩素化合物でも熱帯の貧栄養海水中での寿命が長くなることがわかる。このことは最近の低緯度地域での急速な工業化を考えると心にとめておいてもよいことである。

地球規模での有機塩素化合物の汚染は、80年代前半あたりまでは、北半球中緯度帯に集中していた (図 2.4)。このことはこれら化学物質の生産・使用国がこのベルトに分布していることを考えれば当然といえる。そして海水の濃度は、そこに住む哺乳動物の濃度にも反映していた。

ところが90年代に至り、汚染のレベルは文字通り地球規模に拡大し (図 2.5)、さらにアジアを中心とする低緯度諸国の経済力の向上が化学物質使用量の増大を生んでいる (図 2.6)。域内での生産増だけでなく域内 (南南) 貿易の拡大も看過できない。この趨勢は今後注目すべきであろう。地球規模での汚染の拡大と、調査研究の集積から、汚染の発生源とその到達点が地理的に大きく異なること、また時間的にも大幅におくれて生物蓄積が顕在化することなども明らかになってきた。

2.1.5 有機塩素化合物の生物蓄積

世界の外洋表層中の PCB や DDT の濃度はふつう 1ppt (1兆分の1) 以下、水によく溶ける HCH でも 10ppt 以下で、正確に測定するためには高度の技術を必要とするほど極微量でしかない。しかし海水中に生活する生物中には時として海水中の濃度の1億倍もの高濃度に蓄積し、様ざまな障害が懸念されている。

これが食物連鎖による生物濃縮といわれる現象で、難分解性人工化合物や重金属類の生体影響で最も注目される問題である。表 2.1 に西部北太平洋における食物連鎖を構成する生物種ごとの有機塩素化合物の濃度と生物濃縮係数 (生物中の濃度/海水中の濃度) を示してある。ここでハダカイワシとスルメイカは動物プランクトンを食べ、哺乳動物スジイルカはハダカイワシとスルメイカを食べる。

一般に海水からプランクトンの段階で千倍から一万倍に濃縮され、その後の連鎖では普通 10 倍以下にしか濃縮されないが、哺乳動物になると寿命が長く、体重当たりの食事も増えるなどの理由で急激な濃縮がおこる。

先に述べたように、油に対する溶解度は水に対する溶解度とある範囲内では逆比例の関係にある。従って水溶解度の低い DDT や PCB は、HCH に比べ脂溶性が高く、生物に蓄積される。こうした法則性は有機塩素の生物蓄積性を知る大変有効な物指しとなる。魚介類でも、油脂分の多い種類ほど、あるいは脂ののる時期に有機塩素化合物の濃度が高くなる。スジイルカの体の外側をおおっている脂肪の層 (皮脂) では海水に対し 2 億倍もの

DDT が貯まることもある。

2.1.6 有機塩素化合物の生態系への影響

— イルカを中心に —

人工有機化合物のヒトを含む生体と生態系への影響は、微量、長期、複合暴露の毒性であって、微量毒性化学物質の危険性として、世界中でもっとも社会的関心を集めている課題であるが、現在まで、まだこの難問には断片的にしか答えられていない。ここではイルカを例にとり、これまでの知見の一端を紹介する。

後で説明するように、イルカは哺乳動物の中でもとくに有機塩素化合物を蓄積しやすい(図 2.7)。イルカは哺乳動物であるから、メスは出産すると授乳を行う。イルカの乳は時として 30~40%もの脂肪を含み、そのため脂溶性の有機塩素を高濃度に含んでいる。従ってスジイルカのメスは生殖年齢 10 歳前後を境に急速に体中 PCB 濃度が低下する。当然のことながらオスにはそのような低下は認められない。一回の出産による授乳で母親のスジイルカは体内の PCB や DDT の総量の約 60%を排泄し、その分だけ子供に移行する。出産直後の子供の体重は母親の 1/10 なので、スジイルカの乳児は、母親の数倍の濃度の DDT や PCB を蓄積し、個体によっては生涯での最高濃度の汚染を生まれた直後に経験することになるが、この毒性の影響は全くわかっていない。一般に初産年齢が高い第一子が、それまでに母親が最高度に有機塩素を蓄積しているため最高濃度の暴露を受けることになる。こうした有機塩素の母子間移行は、イルカの寿命が数十年に及ぶため、たとえ海水中の有機塩素が 0 になったとしてもイルカの汚染は極めて長期間にわたることを示している。

イルカは外洋の最もきれいな PCB 濃度の低い環境に住んでいるのに、何故これほど大量の PCB が貯まるのか、またそのことによってどのような影響が予想されるであろうか。

PCB やダイオキシンのような毒物が体内に取り込まれると、動物は肝臓の中でそれを分解する酵素(薬物代謝酵素)を誘導し、毒物は分解、排泄されて解毒される。しかし困ったことに、この酵素は同時にそれ自体は発ガン性を持たない二次発ガン物質(大抵の発ガン物質はこれである)を活性化して発ガン性を生じさせるとか、あるいは生体に固有の性ホルモンなどの分解も促進してそのリズムを変調させる可能性がある。

薬物代謝酵素にはフェノバルビタール型(PB)と 3-メチルコラントレン型(MC)の 2 種が知られている。PCB を分解するのは主として PB 型酵素、発ガンなどに関係するのは MC 型の酵素で、ダイオキシンは最も強力な MC 型薬物代謝酵素の誘導能を持っている。

複雑な手続きで生物とその餌との間の PCB 組成を比較検討して、哺乳動物の PB 型と MC 型の能力を推定したのが図 2.8 である。この図から海産哺乳動物、とくにイルカは PB 型の薬物代謝能力がほとんどか、あるいは全くないため、餌から取り込んだ PCB のほとんどが分解されず蓄積されることがわかる。この能力の強いヒトやイヌは PCB が蓄積されにくい。また、アザラシ類を中心に PCB による生殖毒性が欧米で確認されており、薬物代謝酵素誘導との関係が示唆されている。

2.1.7 化学物質毒性の新展開

1996年春、米国T. コルボーン、D. デュマノスキー、J.P. マイヤーズ共著の“*Our Stolen Future*”(われわれの盗まれた未来)が、副大統領ゴアの第2の“沈黙の春”であるとの序文つきで出版された。これは、マスメディアでも大きくとりあげられ、クリントン大統領も早速、政府をあげての検討と対応をはじめた。

男性の精子が減っているという週刊誌の記事を読まれた方も多いと思う。実は、DDT (DDE)、PCB、ダイオキシンなどの有機塩素化合物に女性ホルモン、エストロジェンのような作用があるらしいことは、かなり古くからわかっていた。しかし、問題の複雑さから、因果関係を確定することがむずかしかった。それでも犬の遠ぼえも、何頭もの犬があちこちでほえれば、やはり泥棒はいるらしいということで、次第に研究者間でのコンセンサスになってきていた。この状況を一気に変えたのが上記の出版であった。ついでながら、翻訳が近く日本で出版されると聞いている。

現在までの研究では、性ホルモンばかりでなく脳の発育などにも関係する胸腺ホルモンなど、ヒトを含む広い生物の内分泌系をかく乱する物質が、人工にも天然にも多いことがわかってきた。今のところ、天然物は不安定で生体に濃縮されないの、人工化学物質が、より重要であろうと考えられている。

毒性の一例を挙げれば、性ホルモンは生殖過程を調節する機能をもち、このリズムや濃度が外部からの人工物質の投入により狂うと、実に多様な毒性が発現する。妊娠、胎児の発育、出生後性成熟したときに発現する毒性(F0暴露によりF1やF2に毒性が現れる)などが指摘されている。妊娠のごく限られた時期には、成人の毒性発現より、はるかに少ない量で毒性が発現する。これまでの動物を使った発ガン実験をもとにしたADI(毎日、一生摂取を続けても毒性が現れない量)をもとにした、化学物質の安全規制の方法が根本的に問い直されるかもしれない。生涯のごく短期間だけの摂取、その孫子への影響といった難題に現代の科学では答えられない。この問題に限らないが、科学、技術、あるいは医学領域での行政的意志決定のプロセスに、情報公開と、非専門の一般市民の参加が必要な時代になったのであろう。

2.2 環境と照明システム

地球が誕生してから約46億年、その地球に人類が誕生したのが今から500~600万年前だと言われている。人類はこの長い年月の間に、地球の環境に生まれそれに適応するように進化してきた。ところが人類の歴史から測ってもごく最近の200年程の間に、人間の活動が飛躍的に巨大化して、大量の資源を消費し、それを廃棄する社会を構築して来た。人間活動の変化が地球の営みのタイムスケールに比べて余りにも急激であるために、地球環境はその変化に対応できなくなりバランスを崩し始めた。その結果、環境は人類にとっても快適なものでもなくなり始め、このままでは、人類のみならず地球上の全ての生き物の生存さえ危ういものになろうとしている。今こそ我々は、「恵み豊かな環境を未来につなぐパートナーシップ」(1996年版環境白書の副題)を発揮する時である。

わが国では持続可能な社会を目指して「環境基本法」が1993年に制定され、その実効を図るために1996年に「環境基本計画」が策定された。これには「循環」(環境への負

荷が少ない循環を基調とする経済社会システムの実現)、「共生」(自然と人間との共生)、「参加」(公平な役割分担の下での全ての主体の参加の実現)、「国際的取組」(国際的取組の推進)を長期目標の4本柱に掲げている。環境問題には国境がなく地球規模で発生するものが多いことから、「地球温暖化」、「オゾン層の破壊」、「酸性雨」、「海洋汚染」、「有害廃棄物の越境移動」、「森林の減少」、「生物多様性の減少」、「砂漠化」の8問題では国際条約により各国が協力して取り組んでいる。

照明システムが関与する環境問題にどのようなものがあるのだろうか。以下に考えてみよう。ただし、ここでは、いわゆる光の問題(光公害)は取り扱わない。

2.2.1 大気汚染の問題

地球温暖化、オゾン層破壊、大気汚染、酸性雨などはいずれも広義の大気汚染の範疇に入る問題である。地球温暖化は石炭や石油といった化石燃料の燃焼が最大の原因だと言われている。化石燃料の燃焼による温室効果ガスの濃度の上昇が、気温の上昇を招き、それに伴って海水面が上昇する。温室効果ガスとしては二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素等があるが、もっとも影響の大きいのが二酸化炭素であり、温室効果の64%が二酸化炭素によるものだ言われている(図2.9)¹⁾。産業革命以前には大気中の二酸化炭素濃度は280ppm程度であったのが、最近では350ppmを超えてさらに毎年0.5%程度ずつ上昇している。このままの状態では100年後には気温が約2°C上昇して、海面が平均50cm上昇すると予想されている。そのような事態になれば地球上のあらゆる生態系に深刻な影響を及ぼすであろうことは言うを待たない。

「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)は、大気中の二酸化炭素濃度を安定させるためには温室効果ガスの排出量を1990年のレベルまで下げることが必要であると報告している。わが国でも1990年(平成2年)2月に「地球温暖化防止行動計画」を策定して、(I)2000年以降の一人当たりの二酸化炭素排出量をおおむね1990年レベルで安定させることと、(II)革新的技術開発等により2000年以降の二酸化炭素総排出量を1990年レベルで安定化するよう努めることを目標に掲げている。

さて、ランプを点灯するには電気を使用する。発電用燃料のうち石油と石炭が約46%を占めていて(図2.10)²⁾、これらが排出する二酸化炭素量は総排出量の約18.5%である(図2.11)³⁾。一方、家庭における照明用電力の消費量は年々増加しているが、全消費電力の中に占めるその割合は減少傾向にある(図2.12)^{4) 5)}。現在、わが国における照明用電力消費量は全発電量のおよそ15%と見積もられる(表2.2)⁵⁾から、二酸化炭素の全排出量の約2.8%が照明用電力によるものと推定される。照明用電力を削減することは、省エネルギーに寄与するばかりでなく、二酸化炭素排出量を減らして地球温暖化、大気汚染、さらに酸性雨の問題にも貢献することにもなる。

照明用電力を削減する一つの手段は、低効率ランプから高効率ランプへの転換である。例えば、白熱電球から蛍光ランプに転換すると同一照度を得るのに消費電力を1/4から1/6に削減することができる。米国は全世界の化石燃料の約1/4を消費し、わが国の約5倍の照明用電力を消費しているが、米国国家エネルギー政策法(EPACT)により低効率の蛍光ランプを高効率の蛍光ランプに転換することを法律で取り決めたり、グリーンライトプログラムにより白熱電球からコンパクト型蛍光ランプへの転換を奨励して、照明用電力

の削減に官民一体となって取り組んでいる。わが国でも高周波点灯専用蛍光ランプの企業による設置を税制面で優遇して高効率ランプの採用を奨励している。

照明用電力削減の二つ目の手段は、より高効率のランプを開発することである。初期の蛍光ランプの効率は約 60lm/W であったが、最近の高周波点灯専用蛍光ランプの効率は 100lm/W に達して 1.5 倍以上の効率改善がなされ、同時に演色性も改善されている。HID ランプにおいても、水銀ランプの効率が 40lm/W 程度であったものが、現在では 130lm/W 以上の高圧ナトリウムランプが開発されている。既存のランプの効率改善の努力が今後も引き続いてなされるであろうが、一層の技術革新により新しい高効率光源の実現が待ち望まれるところである。

三つ目の手段は、適正照度による照明と、無駄な明かりの消灯を実行することである。

ランプに含まれる有害物質として、米国政府は水銀、鉛およびバリウムを指定している。蛍光ランプや HID ランプの中には水銀が封入されている。これがランプ内に封じ込められている限りなんら問題を生じることはなく、また、封入されている水銀は無機水銀であって、これは体内に吸収されることがほとんどなく、体温計にも使用されているものと同種である。ただし、多量に吸引すると過敏症の人は神経障害を引き起こすことがある。19 世紀中葉に書かれた物語「不思議の国のアリス」に出てくる「狂った帽子屋」は、当時、フェルトの製造工程で水銀を用いていたため、神経を冒された過敏症の職人を指しているであろうと推測されている⁶⁾。

蛍光ランプと HID ランプが点灯中に破壊されたときの室内の水銀濃度をシミュレーションした報告がある。仮定や条件の設定の仕方によりかなり異なる結果が出ることも予想されるが、一例として、Clear らの計算結果を図 2.13 に示す⁷⁾。条件は、天井の高さが 2.5m、床面積が 10m^2 の部屋内において、水銀を 50mg 封入した 40W 蛍光ランプ 4 個が破壊されてその内の 1/5 の水銀が放出された場合と、30mg 封入した 175W の HID ランプ 1 個が点灯中に破壊されて中の水銀が全て放出された場合の 2 通りである。室内の空気はランプ破壊後、1 時間毎に 1/5 ずつ換気している。蛍光ランプの場合、破壊後約 2 時間の水銀濃度は大気中の作業基準の $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているが短時間であるため問題ない。HID ランプの場合は数時間にわたって $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているが、これは過敏症の子供が中毒を起こす可能性のある濃度である。次に、1 辺が約 1.7m (容積 = 5m^3) の密閉された狭い室内でランプが破壊された場合をシミュレーションしている。HID ランプでは数時間、 $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていてこれは急性肺炎を引き起こす可能性がある濃度であり、蛍光ランプの場合は最高濃度が $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達していて長時間そこに閉じ込められると中毒になることもあり得る。

(社)日本電球工業会では、直径 40cm の密閉したポリ容器内に土壌を 50kg 入れて、その中に蛍光ランプ 10 個 (1 個当たりの水銀量を 30mg とし合計 300mg と見積もっている) を埋没させ、上から 3l/週の純水または海水を散水した時の、気相中と流出水中の水銀濃度を測定している⁸⁾。その時の気相中の最高濃度は砂地に純水を散水したときの $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、最低濃度は埴土に海水を散水したときの $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。平均濃度は作業基準を超えているが、実際の埋め立て処分では覆土表面は直接大気に接触しているため、水銀蒸気はただちに拡散されてしまうので問題にならないとしている。

2.2.2 海洋汚染・水質汚濁の問題

近年はタンカーの座礁や沈没による大規模な海洋汚染や、河川から流入する生活排水などが原因の赤潮が、人間や海棲生物を悲惨な状態に追い込んでいる。1997年初めには、ロシアのタンカー「ナホトカ号」が日本海で沈没し、流れ出た重油により日本海沿岸地方に多大の被害を与えている。深海に沈没した船体内の重油が今後どのようなようになるのか予測もつかず、将来に不安を残したままである。一方では、地下水へのトリクロロエチレン等の有害物質の侵入が生活用水に影響することも問題になっている。

水銀は自然に存在する鉱物であるため鉱山の近くや温泉などには、排水基準の5ppbを超えたりそれに近い水銀を含むところもあり⁹⁾過度に神経質になる必要はないが、水銀の管理に手落ちがあると1950年頃から始まり1300人近い死者を出した水俣病のような悲惨な状態を招くことになる。これは工場排水による海水中の高濃度の水銀を、底質中の微生物がメチル水銀化して、それを体内に蓄積した魚介類を人間や動物が摂取したために発生した水銀中毒である。米国FDAでは、水銀濃度が $1\mu\text{g/g}$ 以上の魚の市場への出荷を禁止している。メチル水銀は無機水銀と異なり可溶性であり体内に吸収されて、血液-脳障壁を通り抜けて脳細胞を冒すために危険である。無機水銀(金属水銀)の方は摂取しても吸収されないで体外に排出され、また、血液-脳障壁を通り抜けることが出来ないので危険はほとんどない。

現在、環境庁が毎年水質検査を行っている公共用水域からはいずれも水銀が検出されていない。しかし、水銀が封入されている蛍光灯を廃棄するときの水質への影響を認識しておくことは大切である。前項で取り上げた日本電球工業会の実験における流出水中の水銀濃度は、純水の場合は2.8ppbであるが、海水の場合は数10ppbである。わが国では水銀、アルキル水銀、および、その他の水銀化合物の環境基準を 0.0005mg/l と定めている。純水を散水した場合は基準値以下であるが、海水を散水した場合はこの基準値を超えている。この実験では土壌中に埋没させた蛍光灯の量が、実際の処分場よりかなり多いこともあるが、水源地や海岸近くの廃棄物処理場に大量の蛍光灯を廃棄することは避けるべきであることを示している。

2.2.3 廃棄物処理の問題

わが国においては、大量に排出される廃棄物によって最終処理場の残余容量が逼迫してきている。そのため香川県豊島のように大量の不法投棄の処理に困っている地域がある。1991年度における、廃棄物総排出量は約4億5,000万トンであり、ランプの排出量は7万2,000トン、照明器具の排出量は約27万1,000トン(ランプ1万9,000トンを含む)であると推定される。したがって、照明システムからの排出量は全体の約0.08%である。全体から見れば少量であるが今後リサイクルを検討することが必要であろう。すでに誘導灯器具および非常用照明器具に使用されているニカド電池の回収システムは確立されている。

廃棄物中に有害物質を含む場合には付近住民に深刻な影響をもたらす。ランプに使用される水銀は無機水銀であり、今たちまち人体に影響を及ぼすようなことはないが、将来にわたって蛍光灯の水銀をそのまま廃棄し続けることは、河川や地下水、海水の汚染

の原因になる恐れはある。わが国における水銀消費量は、図 2.14 に示すように 1960 年代には 1,260 トンであったのが、農薬からの水銀の除去、苛性ソーダの製造法の変更、さらに乾電池の無水銀化によって 1995 年には約 36 トンまで減少した。これ以外に照明システムに使用されている水銀は約 7 トンと見積もられるが、ほとんどは蛍光灯用である。1 個の蛍光灯に必要な水銀量を減らす努力は継続してなされて来た。40W 蛍光灯を例に採ると 1970 年代には約 30mg 封入していたのが、現在では半分以下の 8~10mg 程度まで減少している。これには水銀秤量技術の向上が貢献しているが、最近のコンパクト形蛍光灯や電球形蛍光灯のようにランプの小型化も水銀封入量の削減に貢献している。Philips 社は、水銀封入量 3mg の蛍光灯を開発したと発表している。しかし、現在のところ蛍光灯の無水銀化は達成されていない。安全と資源の有効利用のために、ランプの回収と再生利用の推進を図るべきである。すでに蛍光灯からの水銀の回収とガラスの再生技術は確立されて、再生処理工場が稼働している。今後、如何に多くの使用済み蛍光灯が再生ルートに載るかが課題である。その方向は 1997 年 4 月から発効する「容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」に見られる。この法律は、国・自治体、事業者および消費者の役割分担を明確にして、分別収集と再商品化の促進を図ることを定めている。(I) 事業者は市町村の分別収集により得られたものの再商品化の義務を負い、また、再使用可能な容器包装の使用と容器包装の過剰な使用の禁止が義務づけられている。(II) 市町村は容器包装廃棄物の分別収集を行う。(III) 消費者は再生品の使用、過剰包装の抑制、分別排出することを義務づけられている。これにより最終廃棄物の量を減らし、資源の有効利用を図ろうとするものである。それぞれの役割における費用はそれぞれの分担者が負うことになる。東京都豊島区では 1996 年 12 月以後、事業者からの廃棄物の回収の有料化を実施すると、廃棄物量の 40% を占める紙類の多くが無料回収のリサイクル品に廻るといふ副次効果も現れた。

ランプの回収と再生処理の方法はこれらを参考にして検討されるべきであろう。以上、照明システムと環境全般との係わりについて概説した。

参 考 文 献

- 1) 環境庁編：「平成 8 年版環境白書・総説」、1996 年(平成 8 年)、352 頁
- 2) 照明学会：エネルギーの有効利用から見た照明特別委員会報告書「エネルギーの有効利用から見た照明」、1993 年(平成 5 年)、10 頁
- 3) 環境庁編：「平成 8 年版環境白書・総説」、1996 年(平成 8 年)、354 頁
- 4) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編：平成 7 年度電力需給の概要、420 頁
- 5) 電気事業連合会統計委員会編：電気事業便覧(平成 3~8 年版)
- 6) J.V. ロドリックス：「危険は予測できるか!」、化学同人、1994 年、170 頁
- 7) Clear,R. and Berman,S.: Enviromental and health aspects of lighting ; Mercury, IESNA Anual Conf. Paper, 1993, pp.598 - 640

- 8) 社団法人日本電球工業会：昭和52年度電気器具の有害物質除去に関する研究調査報告書、第1部蛍光ランプ、昭和53年5月
- 9) 喜田村ほか共著：水銀、講談社サイエンティフィック、134頁

図表

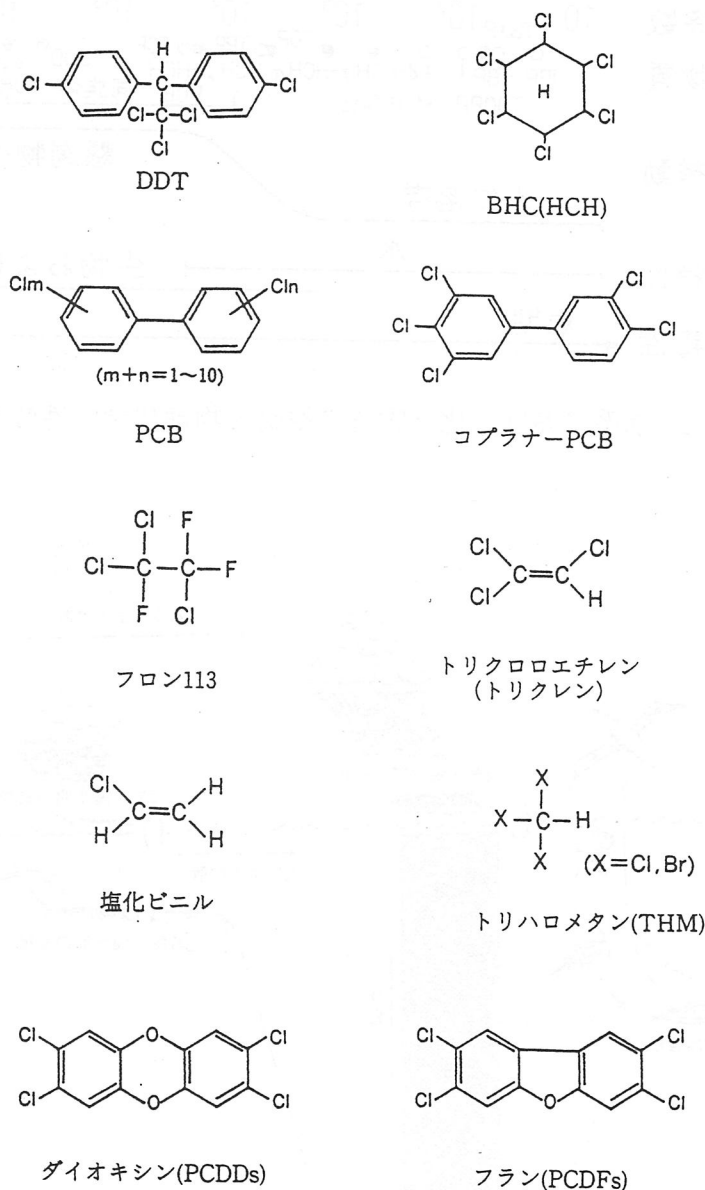


図 2.1: これまで環境問題となった代表的有機塩素化合物

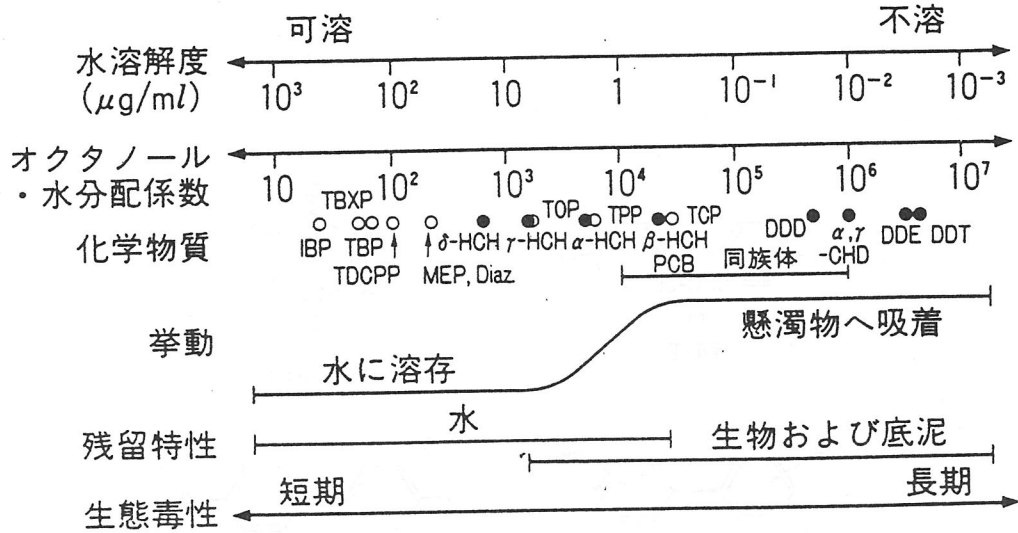


図 2.2: 水系における化学物質の挙動と物理化学的性質との関係

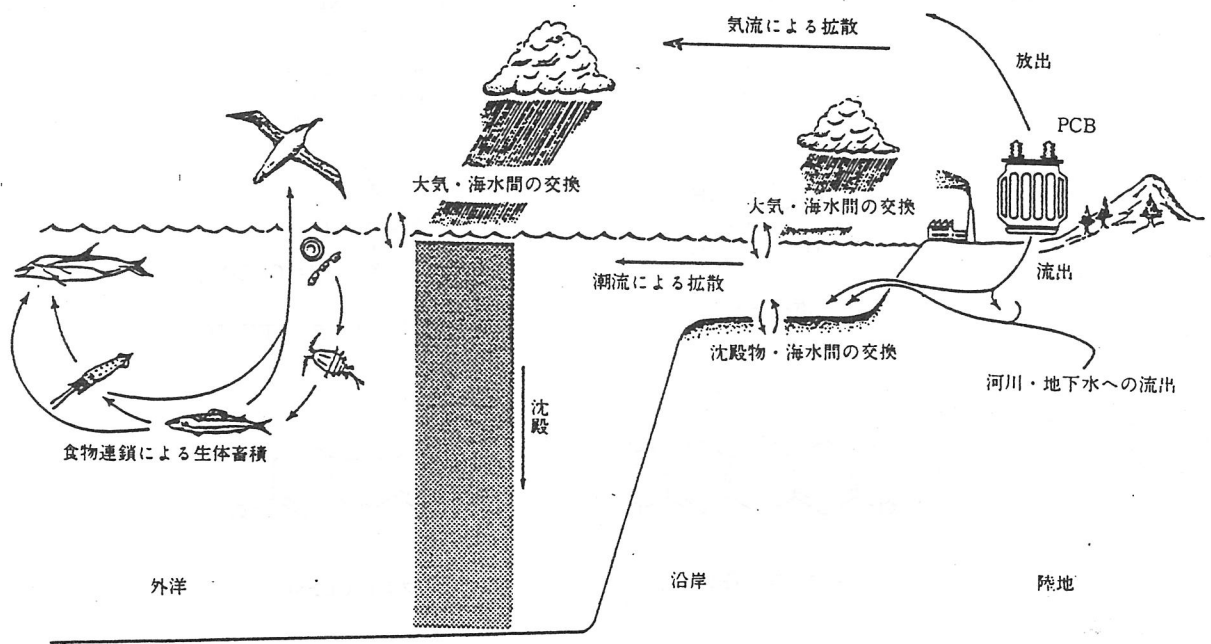


図 2.3: PCB の地球環境でのゆくえ

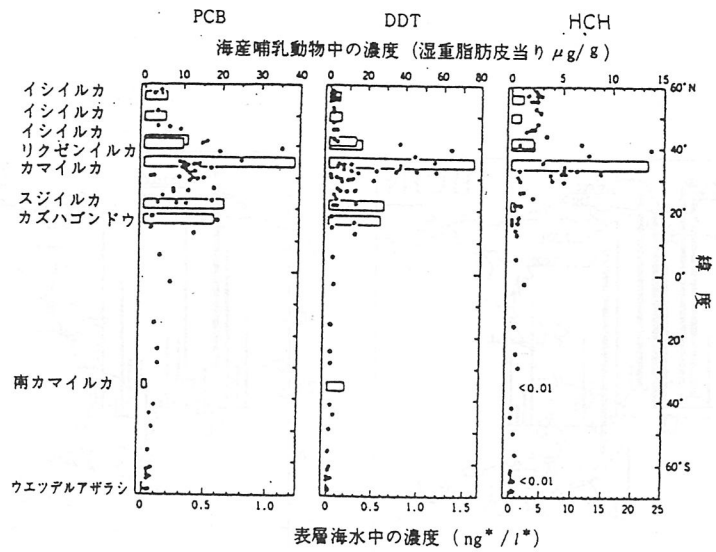


図 2.4: 西部太平洋外洋域の表層海水と海産哺乳動物に残留する有機塩素化合物の分布 (黒丸は表層海水中の濃度を、棒は海産哺乳動物中の濃度を示す)

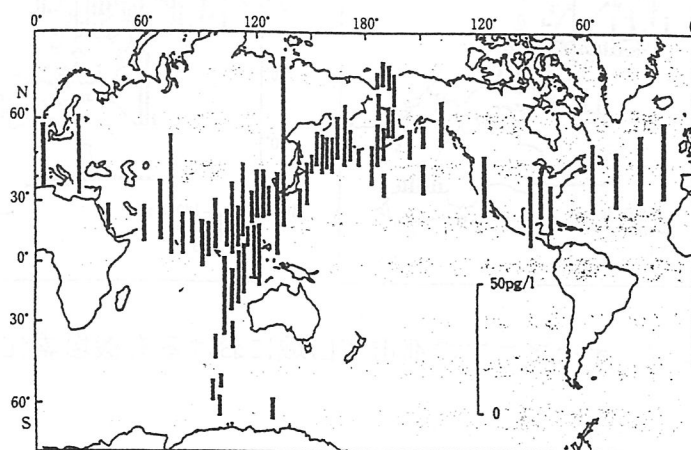


図 2.5: 世界の表層海水の PCB 汚染分布図 (1989-1990)

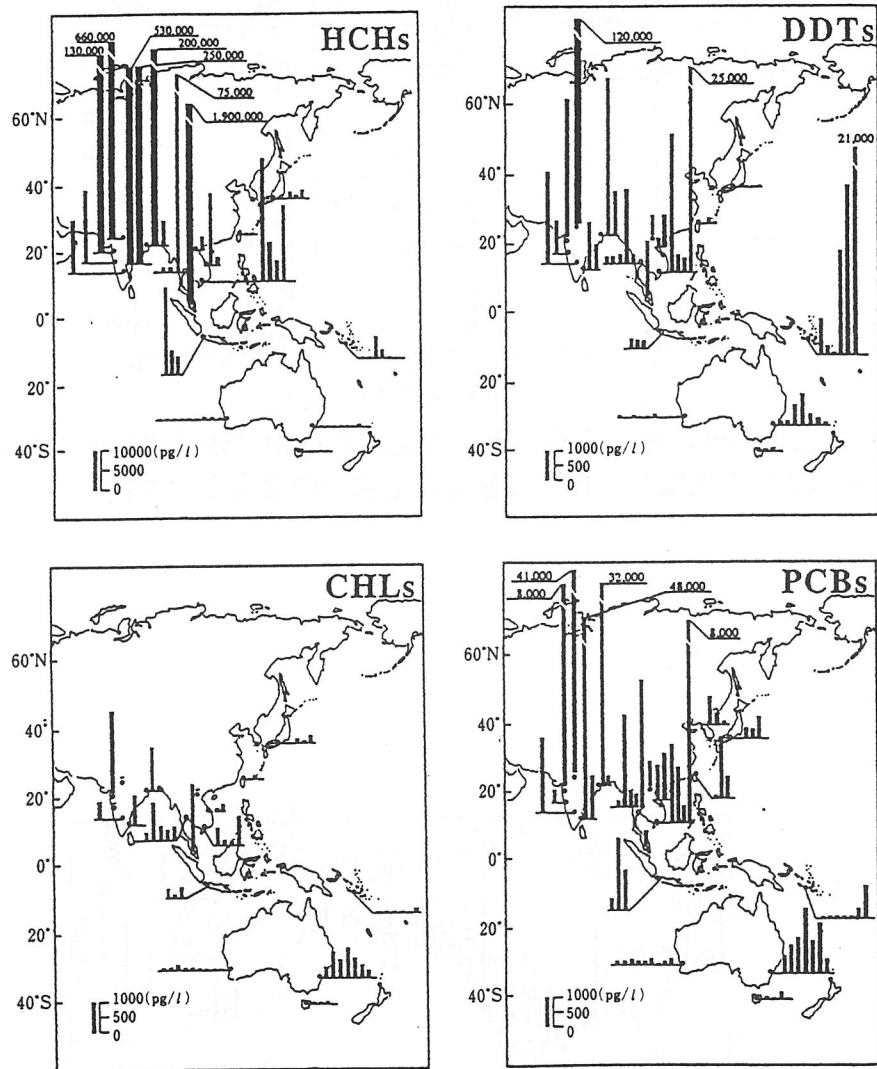


図 2.6: アジア、オセアニアの都市河口域における有機塩素化合物の水汚染

表 2.1: 西部北太平洋の外洋生態系における有機塩素系化合物の濃度 (液体重量当たり) と生物濃縮係数

	PCB	DDT	HCH
濃度			
表層水 (ng/l)	0.28	0.14	2.1
動物プランクトン (μ /kg)	1.8	1.7	0.26
ハダカイワシ (μ /kg)	48	43	2.2
スルメイカ (μ /kg)	68	22	1.1
スジイカ (μ /kg)	3700	5200	77
濃縮係数 ($\times 10^3$)			
動物プランクトン	6.4	12	0.12
ハダカイワシ	170	310	1.0
スルメイカ	240	160	0.52
スジイルカ	13000	37000	37

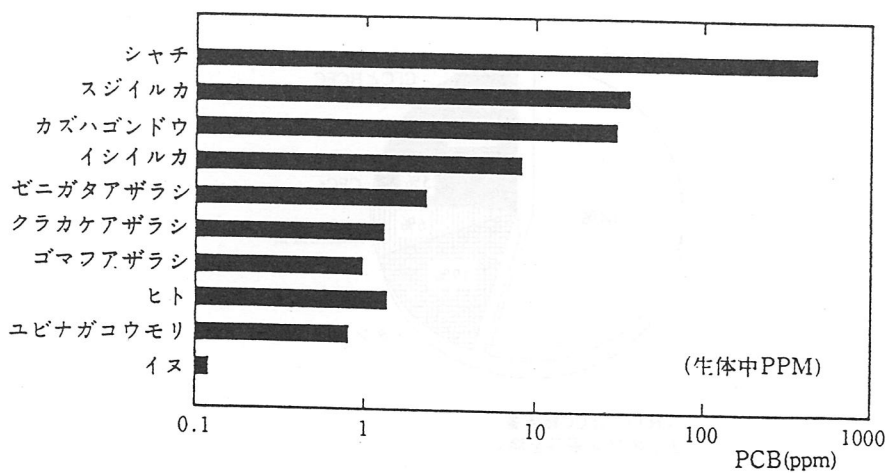


図 2.7: 北太平洋と日本哺乳動物脂肪組織中の PCB 濃度

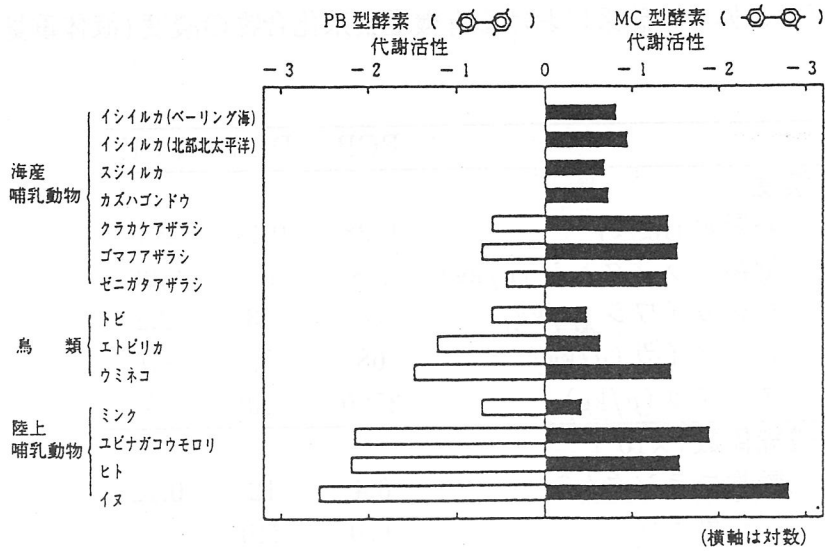
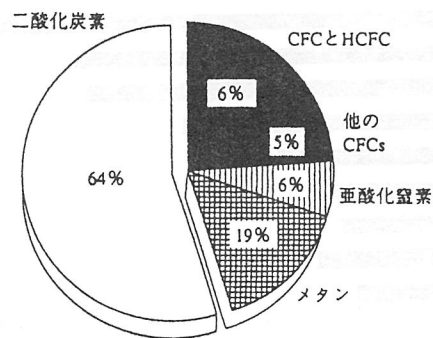


図 2.8: PCB 異性体の比較から推定された薬物代謝酵素、PB 型及び MC 型の活性の高等動物間の比較



(資料) IPCC報告書
注: オゾン寄与を除く

図 2.9: 温室効果に寄与するガスの割合¹⁾

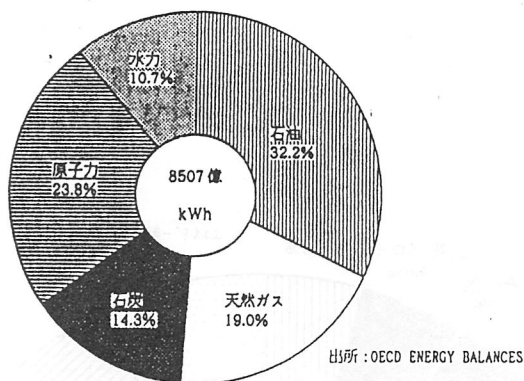
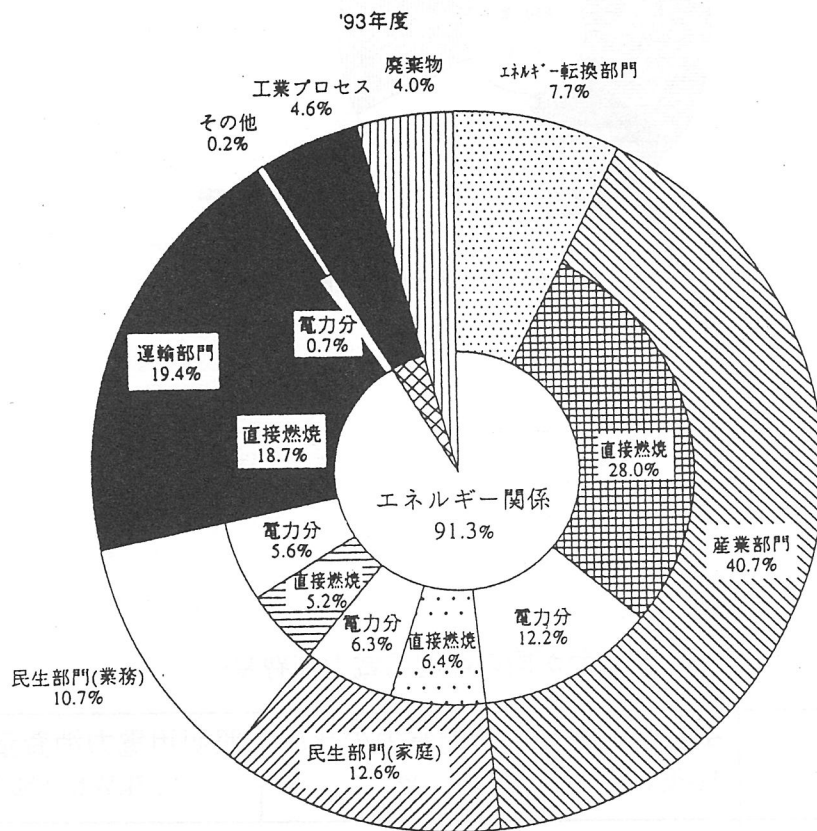


図 2.10: 発電用燃料の構成比率²⁾

表 2.2: わが国の照明用電力消費量⁵⁾

需要区分	全電力消費量 10 ⁹ kWh (%)	照明電力の比率 %	照明用電力消費量 10 ⁹ kWh (%)	備考
電 灯 (従量電灯甲・乙)	222.4 (29.6) (176.3)	17	37.8 (32.1)	家 庭
業 務 用	150.9 (20.1)	33	49.8 (42.3)	ビ ル
産業 その他	377.9 (50.3)	8	30.2 (25.6)	工 場
合 計	751.1 (100)	15.7	117.8 (100)	

全消費電力量は電気事業連合会統計委員会編「平成8年版電気事業便覧」、照明電力の比率は(社)照明学会エネルギーの有効利用から見た照明特別委員会報告書「エネルギーの有効利用から見た照明」(1993年、17頁)の値を使用



注1: 「総合エネルギー統計」等により推計したものである。
 注2: パーセント表示は、排出総量に対する割合を示したものである。
 注3: 産業部門には潤滑油等の消費に伴う分 (0.4%)が含まれる。
 (資料) 環境庁

図 2.11: 二酸化炭素排出量の部門別内訳³⁾

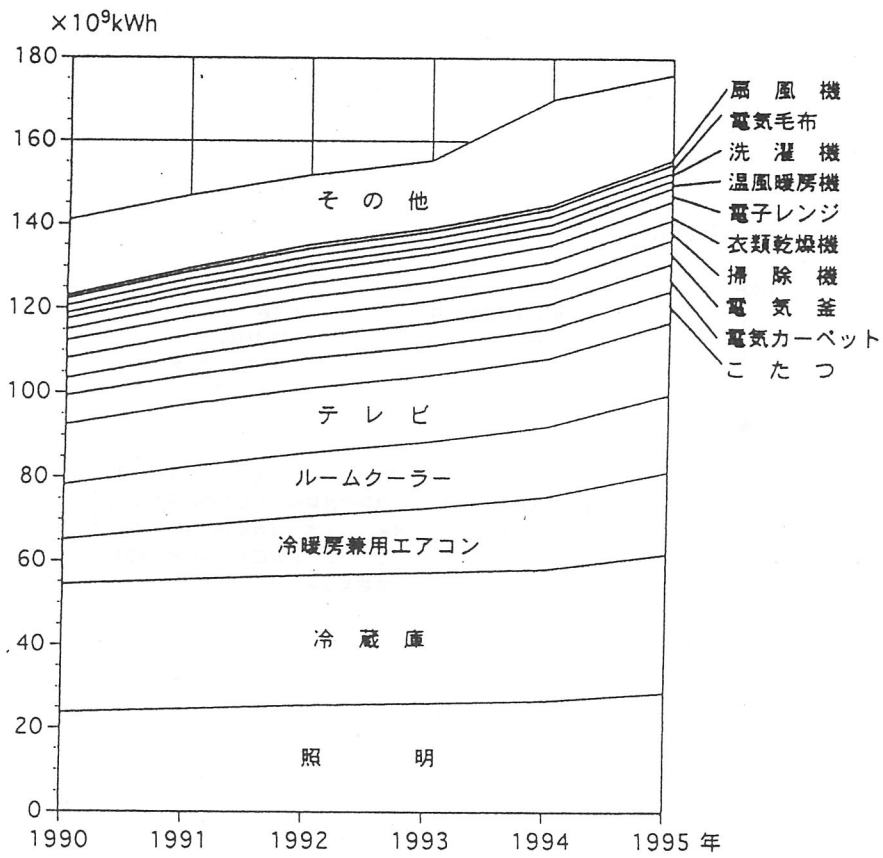


図 2.12: 家庭用電力 (従量電灯甲・乙) の機器別消費量^{4, 5)}

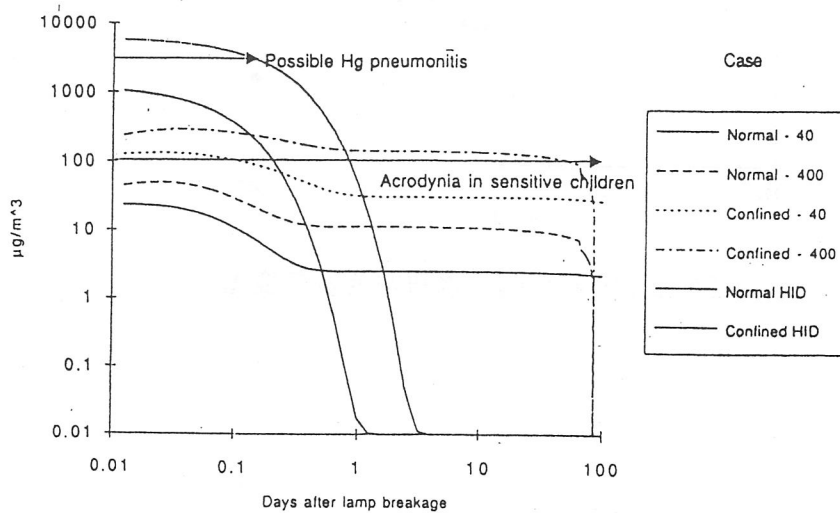


図 2.13: 蛍光ランプと HID ランプが破壊した時の大気中の水銀濃度⁷⁾

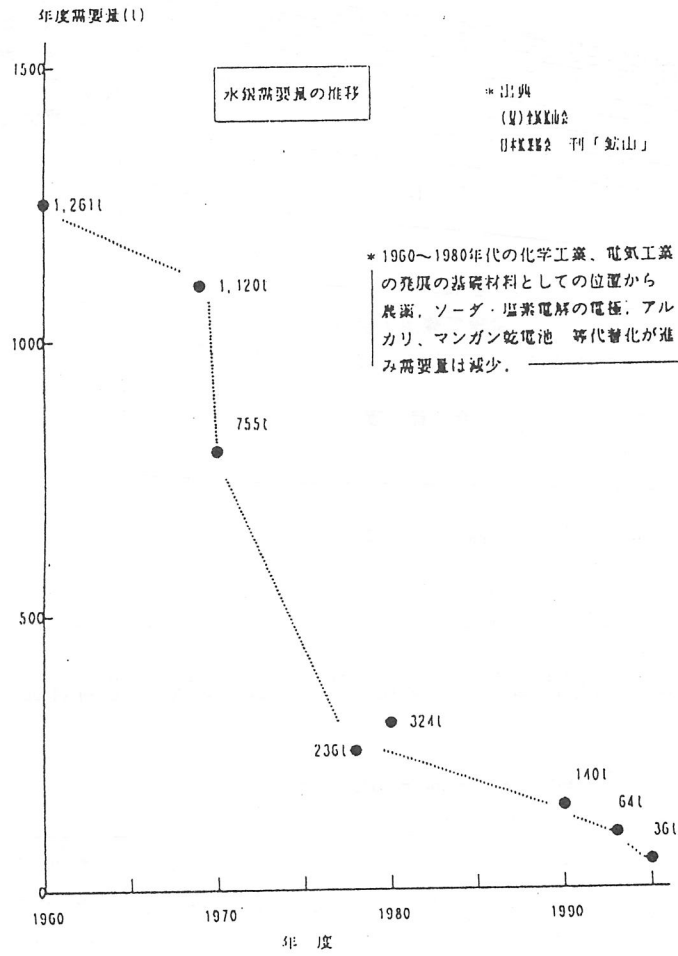


図 2.14: わが国の水銀需要量の変遷

第 3 章 照明システムの現状と問題点

3.1 光源

3.1.1 概説

照明システムの環境問題を考える場合、ランプ（光源）の検討が重要である。省エネルギーに直結するシステムの効率向上はランプの開発による部分が大きく、省資源につながる小型軽量化はランプの小型化とそれに合わせた器具の開発によって行われている。

一方、使用済み製品の処理問題については、水銀が含まれているランプの数量が多いため重要な問題となっている。

国内でのランプの生産数量は、若干の変動はあるが、経済成長とともに着実に増加している。図 3.1 は蛍光ランプ、一般電球、ハロゲン電球の生産数の推移を示したものである。

蛍光ランプは国内で生産され始めてから、ほぼ直線的に増加し、現在、年間約 4 億本が生産されている。品種構成は直管形が多く、95 年度では 20W 未満が 13%、20W 以上 40W 未満が 27%、40W 以上が 29%である。残りは環形の 29%と電球形の 3%である。最近では電球形やコンパクト形の新製品が多く発売され数量も増加している。

また、照明用以外のいわゆる液晶バックライト用の蛍光ランプも、携帯パソコンの増加により増えている。

一方、一般電球は比較的安定した生産数で年間約 1 億 5~6 千万個である。なお、この照明用以外の自動車用や表示用の電球が年間 12~13 億個生産されている。電球の新製品はそれほど多くはないが、最近では小形のクリプトン電球の数量が増加しており、年間約千数百万個生産されている。

HID ランプも図 3.2 のように生産数が増加している。品種構成は 1995 年で高圧水銀ランプ 52%、メタルハライドランプ 37%、高圧ナトリウムランプ 11%である。演色性に優れたメタルハライドの比率が増加している。最近の動きとしては新しい用途として、液晶プロジェクター TV 用のバックライトや自動車のヘッドライトへの応用が進められている。

以上のような生産数の変化と同時にランプの効率も向上しており、図 3.3 はそれを示したものである。電球とハロゲン電球の効率改善は封入ガスやフィラメントの改良で行われ、最近では赤外線反射膜を使用したものが増えている。蛍光ランプは蛍光体の開発、封入ガスや管径の検討により効率が向上し、さらに演色性も三波長形蛍光体により大幅によくなっている。

ランプの製品開発は高効率化、小型化、高演色化が大きな流れである。電球はクリプトン電球、ハロゲン電球の増加、蛍光ランプは細管化が進み、コンパクト形や電球形が増加している。HID ランプも同じような動向である。これらの方向は省エネルギー、省資源の方向と一致している。

しかし、照明製品は単に効率だけではなく、デザイン、雰囲気なども重視されるため、電球を蛍光灯に変える傾向はそれほど強く無く、電球も安定した数量が使用されている。また、蛍光灯には微量の水銀が含まれており、使用済みランプの処理方法が問題になる。このようにランプの環境問題も単純ではなく、システム全体として検討する必要がある。

以下、各ランプ毎に現状と問題点を記載する。

3.1.2 白熱電球・ハロゲン電球

白熱電球は暖かみのある光色をもち色再現性が高い光源である。また高輝度、小形であることから器具設計の自由度が高く、形状を含めて多種類の電球が使われている。商用電圧でそのまま点灯でき、安定器が不要であるという省資源性と同時に、安価でもある。また点滅にも強いという特長がある。点灯時間が短く、点滅の頻度が高い用途、暖かみ、陰影を求める照明に適しており、主に家庭用や店舗用照明に用いられている¹⁾。

1995年(平成7年)における一般照明用電球の生産数は1億5,457万個で、蛍光灯の生産数の約40%であった²⁾。

1) 種類

一般照明用電球はJIS C 7501に規定されている³⁾。白色塗装、白色薄膜塗装、内面つや消し、および無色透明の4種類があるが、ガラス球に拡散処理を施した電球では、かつての「内面つや消し」から「白色薄膜塗装」に変わっている。

照明器具のコンパクト化のニーズから、封入ガスの主成分をアルゴンガスからクリプトンガスに変更したクリプトン電球が製品化されている。これは一般照明用電球とほぼ同じ構造で小形かつ長寿命である⁴⁾。この電球は小形一般照明用電球に関する日本電球工業会規格で規定されている(JEL 118)⁵⁾。

一般照明用のハロゲン電球は点灯電圧からは低電圧形、商用電圧形の2種類、形状からは両口金形、片口金形の2種類に区分される。片口金形は口金がピン形、E口金形があり、それぞれ反射鏡の付くタイプ、付かないタイプがある(図3.4)。これらはJIS C 7527で規格化されている⁶⁾。

2) 特性

上述のように白熱電球は多くの長所をもち、幅広く使用されている。小形で安定器も不要のため省資源的である。

しかし、一般照明用電球において可視光として利用できるのは、ランプ入力の内約10%である。ランプ入力の内約72%が赤外放射として失われ、またフィラメントから封入ガスへの伝導・対流による損失が約12%ある(表3.1)⁷⁾。

ランプに投入した電力を可視光に変換する効率是一般照明用電球で16lm/W、ハロゲン電球で19lm/W(片口金形、赤外反射膜付)である。これは蛍光灯の80lm/Wに比べて約1/4である。すなわち同じ光量を得るためには4倍の電力が必要になる。

このように効率が低く、省エネ特性に劣る点が環境保全の観点からみた白熱電球の弱点である。

3) 構造

一般照明用電球はフィラメント、ガラス球、ステム部、口金などからなる。構造と各部の名称を図 3.5 に示す⁸⁾。クリプトン電球はこれとほぼ同じ構造で小形である。

一般照明用ハロゲン電球はクリプトン電球よりさらに小形である。その構造について図 3.6 に示す。電球の外壁面に $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ の多層干渉膜からなる赤外反射膜を形成している。これは可視光は透過するが、フィラメントからの赤外放射を反射して再びフィラメントに戻す機能を有する (図 3.7)⁹⁾。

4) 構成材料

(a) 一般照明用電球

一般照明用電球の構成材料について 60W 形を例にとってみる (表 3.2)。ガラス球 (バルブ) はソーダ石灰ガラスでできており、その重量は約 23g である。発光体としてのフィラメントにはタングステンが使われる。その重量は約 0.02g である。これを支えるマウント部材としてタングステン線、モリブデン線、内部導入線のニッケルメッキ銅線あるいは鉄線、封止部のジュメット線、および、外部導入線の銅線がステム管に取り付けられており、ステム管とあわせて約 4g である。そのほとんどをステム管が占める。ステム管は酸化鉛を約 30% 含有する鉛ガラスでできている¹⁰⁾。口金のシェルには黄銅も用いられているが、アルミニウムが多用されている。アイレット部には鉛を主成分とするはんだが用いられ、約 0.3g の量である。シェルと外部導入線とは、溶接あるいははんだ付けによって接続される。電球 1 個の重量は約 33g である。

(b) クリプトン電球 (小形一般照明用電球)

クリプトン電球 (60W 形) は 1 個の重量が約 14g である (表 3.2)。封入ガスが、一般照明用電球の Ar-N_2 系から Kr-N_2 系に変わって全体が小形になったこと、ステム管部に SUS あるいはアルミニウム材の遮熱板がついていることを除くと従来型の一般照明用電球とほぼ同じ構造、同じ材料である。フィラメントの重量は同一ワット数の一般照明用電球とほぼ同じであるが、小形である分だけ各部の重量は小さくなっている。ステム管部の重量は約 2g である。はんだの使用量は電球 1 個あたり 0.2~0.3g である。

(c) 一般照明用ハロゲン電球

ハロゲン電球の構成材料を商用電圧片口金形 (JD 110V85 W)、および、ダイクロミックミラー付きの反射形 (JDR 110V75 W) について表 3.3 に示す。

ハロゲン電球のバルブにはアルミノ珪酸ガラスが使用されることもあるが、石英ガラスが多用される。バルブ内のハロゲンサイクルを維持するためにバルブ温度を高くする必要がありこのためにバルブは小さく設計され、重量は約 3g である。

バルブ外壁面に形成されている多層干渉膜の $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ は微量である。

フィラメントには約 0.03g のタングステンが使用される。また、モリブデン製外部リード棒、シール用モリブデン箔、タングステン製アンカーと石英ガラス製ブリッジを合わせて約 0.2g のマウント部材が用いられている。口金の絶縁部にはアルミナ-シリカ系のセラミックスが使われる。

反射形では反射鏡および前面ガラスにホウ珪酸ガラスが使用されその重量は

合わせて約40gである。これらの口金絶縁部、および、反射鏡とバルブの固定にはアルミナ-シリカ系の接着剤が使用される。

ハロゲン電球には、ハロゲン化合物(表3.4)¹¹⁾を含むアルゴン、クリプトン、あるいはキセノンガスが封入されている。ハロゲンは点灯中フィラメントから蒸発したタンゲステン原子がバルブ内壁面に付着して、バルブを黒化させるのを防止する効果がある。封入されるハロゲン化合物には臭素系、および塩素系が多く用いられる。その使用量は通常ランプ1個あたり1~100 μ gの程度である。

これらの化合物の中で臭化メチル(CH₃Br)はオゾン層破壊の点から規制物質になっている。しかし、その使用量は表3.2に引用したワット数程度のランプの場合、1個当たりおよそ数 μ gから20 μ gの程度で微量である。また臭化メチルはランプの点灯により分解されて、臭化水素(HBr)やタンゲステンのオキシハロゲン化物(主としてWO₂Br₂)などになる^{12, 13)}。したがって、ランプを廃棄する際に問題となることはないと考えられる。

3.1.3 蛍光ランプ

蛍光ランプは、GE(General Electric Company)が1938年Nela Parkにおいて数種類の蛍光ランプを発表してから50年以上になる歴史を持つ光源である¹⁴⁾。我が国では最も多く使用されているランプで一般照明用光源の中では約60%が蛍光ランプである。特に家庭、事務所、教室などの照明にはほとんど蛍光ランプが使用されており白熱電球とともに一般に最も馴染み深いランプである。

蛍光ランプは、白熱電球に比べてランプ自体の値段が高価であり、点灯装置を必要とすることから初期設備費は割高であるが、発光効率が3倍から6倍高く、平均寿命も5倍から10倍長いために省エネルギータイプの経済性の高いランプである。国内での年間生産数は約4億本で直管形、環形が主であるが、最近、高演色性で高効率の三波長形蛍光ランプや白熱電球と差し替え可能な電球形蛍光ランプなども数多く開発されている。

1) 発光機構とエネルギーバランス

蛍光ランプは、低圧水銀放電において放射される紫外放射を蛍光体によって、波長の長い可視放射に変換して発光させるルミネッセンスを利用するランプである。蛍光ランプの蛍光体を励起する紫外放射として具備すべき条件として、まず最初に、十分な強度で効率よく放射されること、2番目に、蛍光体の可視放射への変換効率が低い波長域であること、3番目に、装置が簡単で取り扱いやすいことが挙げられる。容易に放電させることができる水銀と希ガスの共鳴放射の波長、電離電圧および準安定電圧を表3.5に示してある。これらの中で低気圧放電において強度がもっとも強く、波長が長く可視放射への変換効率が低いのは水銀の共鳴放射253.7nmである。現時点では、水銀は蛍光ランプにとって不可欠の材料であり、これなくしては蛍光ランプは機能しない。水銀の蒸気圧と共鳴放射253.7nmの放射効率の関係を図3.8¹⁵⁾に示すように、圧力が約0.8Paにおいて最高効率が得られる。水銀は液体金属であるため温度によって蒸気圧が変化し、管壁温度が約40°Cの時にこの圧力が得られる。

しかし、このようにガス圧が低いと始動電圧(放電開始電圧)が高くなりすぎて始動が困難であることと、点灯時に十分な放電電流が得られないことのためにアルゴンを約 1kPa 封入してある。すなわち、アルゴンの働きは始動時に水銀とのペニング効果により始動電圧を下げることに、点灯中は緩衝ガスとして電子のエネルギーを水銀の共鳴放射に最適の大きさに抑制することである。

蛍光体に対しては量子効率が高く、演色性が良いことが要求される。なお、水銀と蛍光体に関しては、5.4.1節および 5.4.2節において詳述されるので本項では省略する。

図 3.9¹⁶⁾に 40 ワット直管形蛍光ランプ(省電力設計タイプ)に供給される電力の行方を示している。36W の入力のうち、10W が可視放射に変換され、25.8W が熱として消費され、残り 0.2W が蛍光体の励起に役立たない近紫外放射として消費される。すなわち、ランプとしてのエネルギー効率は約 28%である。

2) ランプ構造と構成材料

表 3.6¹⁷⁾に代表的な直管形、環形及びコンパクト形蛍光ランプの構造の概略と構成材料を示してある。

蛍光ランプのガラス管には主としてソーダガラスを使用している。蛍光ランプを重量の点からみれば 90%以上をガラスが占めている。表 3.7に電気硝子年間生産量¹⁸⁾を示す。

蛍光体には従来は白色に発光するハロ燐酸カルシウム蛍光体を使用していたが、近年は、演色性が良く効率も高い希土類蛍光体を使用した三波長域蛍光体の需要が伸びている。これは光の三原色である赤色、緑色、青色に発光する蛍光体を混合して塗布したものである。

電極にはタングステンの 2 重あるいは 3 重コイルフィラメントを使用している。フィラメント表面には放電を助けるために酸化バリウムや酸化ストロンチウムなどの電子放射物質が塗布されている。フィラメントはステムを貫通する導入線によって支持されている。ステムと排気管は鉛ガラスである。ガラスと鉛については 5.4.3 節および 5.4.4 節において論じられている。

ガラス管内には水銀とアルゴンが封入されている。アルゴンの代わりにアルゴン・ネオンなどの希ガス混合ガスを封入する場合もある。ガラス管が細いコンパクト形蛍光ランプや特に外管を被せてある電球形蛍光ランプでは、管壁温度が 40°C の最適値を越えてしまうので、水銀の蒸発量を抑制するために水銀をアマルガム化(例えば Bi-In-Hg 合金)して封入することがある。

口金はランプ形状によって異なる。直管形では、殻部が円筒形アルミニウム、通電端子は黄銅ピン、絶縁部はフェノール樹脂板からできている。環形では、合成樹脂に、黄銅製通電端子を埋め込んだ構造になっている。コンパクト形蛍光ランプの口金の種類を図 3.10に示してある。本体は合成樹脂でこれに通電用の黄銅ピンを取り付けてある。電球形蛍光ランプでは白熱電球と同じねじ込み口金 E26 が使用されている。

口金接着剤は口金の種類に応じて使い分けられている。直管形ではフェノール樹脂等を混合した石粉(炭酸カルシウム)が焼成して接着の役目を果たしている。環形

ランプにおいては接着剤は使用されていない。

コンパクト形ランプにはシリコン樹脂又はフェノール樹脂が用いられている。

3) 点灯装置

蛍光ランプは放電ランプであるため、電流を一定に制限するための安定器と交流100Vまたは200Vで点灯させるための始動装置が必要である。最近では始動装置と安定器の機能を一体にした電子式点灯装置も次第に普及し始めている。始動方式にはスタータ形、ラピッドスタート形、瞬時始動形の3種類がある。始動方式が異なるとランプも点灯回路も両方とも違って来る。つまりランプの種類に応じた点灯回路を使用しなければならない。

スタータ形始動方式は、一般家庭で広く採用されているもので、この方式を採用した点灯回路を図3.11に示してある。蛍光ランプに、並列にグローランプを、直列に安定器を接続している。グローランプはスイッチを入れると放電を始め、蛍光ランプのフィラメントに予熱電流を流す。グローランプが消灯する瞬間、安定器(チョークコイル)に過渡的に高電圧を発生させて蛍光ランプを始動させる。グローランプは蛍光ランプが始動すると点灯中は電力を消費しないので効率的な始動装置である。始動には3秒程度を要する。電子式スタータも開発されている。これを用いると始動時の点滅回数が減るのでランプの長寿命化につながり、始動時間も約1秒程度と短い。

図3.12はラピッドスタート形の点灯回路である。この方式の点灯回路はランプ自体またはランプの近くに始動補助装置を備えていて、安定器には単巻漏れ変圧器を使用し、2次側出力端子の近くにタップを設けてフィラメントに数Vの電圧が加わるようになっている。スイッチを入れると同時にフィラメントが加熱され、同時にランプに電圧が印加されるので1秒以内に点灯する。また、グローランプの寿命による交換が不要なので、この方式は事務室や教室の照明のように多数のランプを一斉に点灯するのに適している。

図3.13はスリムライン形蛍光ランプの点灯回路である。この方式はショーウインドなどに使用される細くて長いスリムライン蛍光ランプを点灯させるためのものである。フィラメントを予熱することなく高電圧を印加して瞬時に始動させる方式で、いわゆる冷陰極放電を利用している。

始動装置と安定器を電子部品で一体化して構成した電子式点灯装置が開発されている。蛍光ランプを高周波で点灯すると図3.14¹⁹⁾に示すようにランプ効率が上昇すると同時に、安定器が小形・軽量になる。電子式点灯回路では周波数を容易に変えることができるので、点灯周波数には数10kHzの高周波を用いる場合が多い。また、瞬時点灯も可能で、調光機能なども容易に付加できるので、最近、次第に普及し始めた。図3.15¹⁹⁾に電子式点灯回路の概略を示す。

4) ランプの形状

(a) 直管形 (FL、FLR)

直管形蛍光ランプは効率が高く、長寿命である。省電力設計タイプを使用すると同じ明るさを得るのに5%から10%の節電になる。表3.8²⁰⁾に代表的な直管形蛍光ランプの特性を示してある。

(b) 環形 (FCL)

通称サークラインと呼ばれるタイプで和室に適する形状である。効率と寿命は同一ワット数の直管形に比べて低い。省電力設計形では約5%の節電になる。表3.9²¹⁾に代表的な環形蛍光ランプの特性を示してある。

(c) コンパクト形 (FPL、FDL、FML、FWL)

ガラス管を折り曲げ片口金を採用してランプの小型化を図ったものである。ガラス管をU字形に折り曲げたり接合したFPLタイプ、2本のU字管を接合したり4本の管を接合したFDLタイプ、2本のU字管あるいは4本の管を平面上に配置して接合したFMLタイプとFWLタイプがある。FMLとFWLは口金が異なる。FDLとFMLは同じ口金を採用している。FWLはピンを口金内部に埋め込んでさらに小型化を図っている。図3.16にコンパクト形蛍光ランプの形状を示してある。表3.10²²⁾に代表的なコンパクト形蛍光ランプの特性を示してある。効率は60lm/Wから80lm/W程度、平均寿命は6,000時間から9,000時間である。

(d) 電球形 (EFG,EFD)

電球形は白熱電球の代替用に開発された蛍光ランプである。コンパクト形のように折り曲げた発光管と点灯回路を一体にして口金に取り付けてある。発光管と点灯装置に球形あるいは円筒形の外管を被せた外管グローブ付タイプ (EFG) と、被せていない露出形 (EFD) がある。図3.17と図3.18に外管グローブ付き電球形蛍光ランプと露出形電球形蛍光ランプの外観と構造を示す。

表3.11²²⁾に代表的な電球形蛍光ランプの特性と白熱電球の特性を比較してある。電球形蛍光ランプの効率は白熱電球の効率の約4倍である。

5) 光色

一般照明用蛍光ランプの光色は色温度の低い順に

電球色 (L)	: 相関色温度 2600K~3150K
温白色 (WW)	: 相関色温度 3200K~3700K
白色 (W)	: 相関色温度 3900K~4500K
昼白色 (N)	: 相関色温度 4600K~5400K
昼光色 (D)	: 相関色温度 5700K~7100K

の5色がJIS(Z9112)で制定されている。色温度は低いほど暖かみを増し、高いほど涼しさを増す。

色の見え方を評価する演色性は、演色評価数で表す。白熱電球の平均演色評価数 (Ra) を100として数値が高いほど演色性が良いといえる。蛍光ランプにはRaが普通形タイプの61 (白色) より高い演色Aタイプ (DL)、さらにRaを82程度に高めた演色AAタイプ (SDL)、さらに90以上に高めた演色AAAタイプ (EDL) がある。

三波長形蛍光ランプの光色にはEXを付けて普通形タイプと区別している。例えば、三波長形電球色はEX-Lと表示している。

6) 特徴

蛍光ランプの特徴としてはまず最初に高効率と長寿命が挙げられる。次に光色が豊富で照明色を自由に選択できるなど蛍光ランプは優れた特徴を有する。ちなみに、

電球形蛍光ランプと白熱電球を6000時間点灯するときの経費を比較してみると、図3.19²³⁾に示すように蛍光ランプで照明する方が経費が約半分ですむ。

HIDランプも高効率で長寿命、しかも高演色性の品種もあるが、HIDランプは、蛍光ランプより高電圧を必要とし、ランプが高温になり、始動と再始動に数分間を要し、さらに点光源に近いと高輝度になる。これらの理由のため現在のところHIDランプは一般家庭用には不向きである。

最近、長残光蛍光体を用いて消灯後も、約60分間薄明かりが照射できる蛍光ランプが商品化された。これは、停電時でも真っ暗にならず、地震発生時などの非常時に有効である。

7) 現状での課題

(a) 水銀

全ての照明システムの中で環境への影響がもっとも懸念されているのが蛍光ランプの水銀である。水銀の有害性は指摘されていながら、蛍光ランプが発明されて以来、水銀の蛍光体の励起源としての役割は変わっていない。それは水銀のように蛍光体を励起するのに有効な紫外放射を効率よく放射するガスが現在のところないからである。その代わりに以前は約50mg封入していた水銀が現在では10mg以下になり、封入量は着実に減少して来ている。現在も、水銀封入技術ならびに点灯中の水銀の消費量の削減技術の向上、また、ランプの小形化によって水銀封入量の削減努力はなされているが、完全に無くす見通しは立っていない。なお、蛍光ランプに封入されている水銀は金属水銀であり、そのままの状態では害を及ぼすことはない。しかし、蛍光ランプが1カ所に大量に廃棄されると、地下水などへの漏出によって有毒(メチル)水銀に変化する恐れはある。そのため使用済み蛍光ランプを回収して適正に処理することが必要である。ここで回収・処理費用を誰が負担するかが問題になる。これは平成7年に制定された「容器・包装リサイクル法」と同様に消費者、事業者、自治体の三者が負担することで解決の道を見出さなくてはならないだろう。水銀に関しては5.4.1節、また、容器・包装リサイクル法については4.2.3節を参照されたい。

(b) 高効率、長寿命、高演色性蛍光ランプの普及

蛍光ランプの発光効率の改善は、省電力を通して照明用電力の、総発電量に占める割合を減らすこと、または、照明用電力を増加させずにより明るい照度を得ることにつながる。他方、コンパクト化や長寿命化は使用材料と廃棄物の減少につながる。これらの課題に対する現状での対応としては、3波長形蛍光ランプ、高周波点灯専用蛍光ランプ、電球形蛍光ランプ、コンパクト形蛍光ランプなど高効率、長寿命、高演色性蛍光ランプのより一層の普及促進が必要と考える。

3.1.4 HID ランプ

HID ランプとは、High Intensity Discharge Lamp の略で、高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプなどからなる高圧金属蒸気放電ランプの総称であり、高輝度放電ランプとも呼ばれる。これらのランプは、大光束で高効率であること、および、外管形状などに多くの共通点がある。これらのランプの発光原理は、点灯中に発光管内のアーカ放電中心部の温度が数千 K 以上になり、そこで金属原子が励起され、その金属固有のスペクトルが放射される。キセノンランプもその光源の特徴から HID ランプの一種として分類されることもある。キセノンランプの構成は、石英ガラスで出来た発光管の両側にタングステンで出来た電極が封止され、発光管内にはキセノンが封入されている。ここでは、キセノンランプを除く HID ランプについて述べる。

1981 年から 1995 年までの HID ランプの通産省生産動態調査結果を図 3.20²⁴⁾に、また、1989 年から 1995 年までの HID ランプの種類別生産比率を図 3.21²⁵⁾に示す。HID ランプでは高圧水銀ランプの比率が次第に減少し、効率がよく、演色性の優れたメタルハライドランプの比率が増加していることがわかる。日本では、水銀ランプ用安定器で点灯可能なメタルハライドランプや高圧ナトリウムランプが開発されたため、このようなメタルハライドランプの増加になったと考えられる。また、最近ではコンパクト形メタルハライドランプの開発も、メタルハライドランプの使用が増加した要因となっている。

1) 種類

発光材料により、大きく下記の 3 種類に分類できる。

(a) 高圧水銀ランプ

発光材料は水銀であり、外管バルブが透明な透明水銀ランプ、演色性を改善するために外管バルブ内面に蛍光体を塗布した蛍光水銀ランプ、外管バルブ内面にアルミ蒸着反射面を設けた反射形水銀ランプ、発光管と直列にタングステンフィラメントを接続し同一外管バルブ内に入れた点灯回路なしで点灯可能なバラストレス水銀ランプ (安定器内蔵形水銀ランプ)、点灯中の水銀蒸気圧を 10~数 10 気圧以上まで高めた超高圧水銀ランプなどがある。

(b) メタルハライドランプ

発光材料は金属ハロゲン化物であり (バッファガスとして封入されている水銀もわずかに発光)、外管バルブが透明な透明形、外管バルブ内面に蛍光体や拡散膜を塗布した蛍光形や拡散形がある。また、ランプの点灯方向に制約があるものもあり、垂直点灯用や水平点灯用がある。口金によって、片口金形や両口金形がある。使用される金属ハロゲン化物によって、色温度や演色性が異なる。

(c) 高圧ナトリウムランプ

発光材料はナトリウムであり、外管バルブが透明な透明形、外管バルブ内面に拡散膜を塗布した拡散形、外管バルブ内面にアルミ蒸着反射面を設けた反射形がある。口金によって、片口金形や両口金形がある。また、発光管内のナトリウム蒸気圧やキセノンガス圧を変えた色温度や演色性の異なるランプがある。

2) 構造

ランプの構造は、発光管、外管バルブ、口金、マウントに大きく分かれる。構造と各部の名称を表 3.12～表 3.15²⁶⁾にランプ外観として示す。

3) 構成材料

発光管は、高圧水銀ランプやメタルハライドランプでは石英ガラスが、高圧ナトリウムランプでは透光性アルミナセラミックが用いられる。

外管バルブは、一般的には硬質ガラスが用いられ、内面に蛍光体や酸化カルシウム等の拡散塗料、外面に破損保護のためにテフロン膜が塗布されたものもある。両口金形のランプでは、外管バルブに石英ガラスが用いられる。

口金には黄銅(ニッケルメッキ)が多く用いられる。マウントにはステンレス線、鉄線(ニッケルメッキ)、ニッケル線が使われる。

電極の主材料にはタングステンが使われ、始動特性や電気特性を良好にするために電子放射性物質が塗布されたり、電子放射性物質を微量に含浸させたタングステンを使用する場合もある。一般に電子放射物質は仕事関数の低い金属酸化物が用いられる。

発光管への電極の封止には、石英発光管にはモリブデン箔が、アルミナ発光管にはニオブ管が用いられる。

保温膜として、メタルハライドランプには酸化ジルコニウムや酸化アルミニウム等が、高圧ナトリウムランプには、タンタル等の高融点金属やセラミックスが用いられる。詳細は、表 3.12～表 3.15²⁶⁾に示す。

4) 特性

HID ランプの特長として、小型で大光束、高輝度、高効率、長寿命などが挙げられる。これらの特長を生かし、道路、広場、競技場などの屋外照明、体育館や工場などの高天井の屋内照明、さらにライトアップなどの景観照明など明るさが求められる場所に広く使用されている。最近では、小型で演色性の良い低ワットの HID ランプが開発され、店舗などの屋内照明にも広く用いられている。

また、一般照明以外の用途としては、小型のメタルハライドランプでは、OHP 用や液晶プロジェクター用の光学機器用光源、自動車用のヘッドランプ用光源にも用いられている。発光管内に封入する金属ハロゲン化合物によって発光の分光分布を変えることが出来るメタルハライドランプでは、産業用光源として製版用やインキ・塗料硬化用の光化学反应用紫外放射光源、集魚灯、植物育成用光源などに広く用いられている。

5) 問題点

環境上の問題点として、HID ランプの構成材料、及び、点灯中の HID ランプからの紫外放射が挙げられる。

(a) HID ランプの構成材料

HID ランプで環境上問題となるのは、水銀、金属ハロゲン化合物、金属酸化物、はんだに含まれている鉛等がある。しかし、水銀以外の物質は水銀と比べると使用量は非常に少ない。主な化学物質の TLV、及び、LD50 について表 3.16²⁷⁾に示す。また、水銀については下記の規制がある。

労働安全衛生法	: 特定化学物質
毒物及び劇物取締法	: 毒物
環境基本法	: 特別管理産業廃棄物

HID ランプにとって水銀は蛍光ランプと同じく必要欠くべからずの物質であり、その処理は重要である。しかし、HID ランプは一般家庭で使われるより事業所系で使われる場合が多い。事業所系から排出される HID ランプは、そのまま、または、外管バルブと発光管に分解され、発光管は電極であるタンゲステンや水銀等の封入物を封じ込めたまま、外管バルブやマウント等の他の構成材料も産業廃棄物として処理される。

(b) 紫外放射

高圧ナトリウムランプは、励起電圧の低いナトリウムの発光により水銀の発光が抑制され、紫外放射はほとんど認められない。一方、高圧水銀ランプやメタルハライドランプの発光管は紫外放射を透過する石英ガラスから成り、水銀と封入物質に紫外放射があるため、外管バルブに硬質ガラスを用いて発光管から放射されている紫外放射を吸収カットしているが、蛍光体を塗布していない透明形ランプでは紫外放射が認められる。そこで、外管バルブに紫外放射を吸収するために添加剤を加えて紫外放射を少なくするように改良をしている。

コンパクト形メタルハライドランプは、発光管と外管バルブが石英ガラスからなり、ランプ単体では紫外放射量は多い。この外管バルブに紫外放射吸収膜を塗布するなどの改善もなされているが、このランプは全面にガラスを装着した灯具を用いるよう指定されている。

また、海外では、紫外線の人体への有害性の問題を考慮した IEC598 の規定(紫外放射が出るランプでは、器具側に紫外放射カットの手段を施さないといけない。また、ランプに紫外線カットの手段を施せばその処置は不要)がある。

3.2 照明回路

照明回路(点灯回路)は、省エネルギー意識の高揚による放電ランプの増加に伴い、製品の種類や使用量も年々増加している。照明回路には、電球形蛍光ランプのように回路とランプが一体となっている構成のものもあるが、一般には、照明器具がランプを交換して使用する構成であるため、照明回路は主として照明器具に内蔵されている。このため、照明回路の使用量はランプの使用量に比べ、表 3.17 に示すランプと照明器具の生産量^{28, 29)}の推移から予測すると、1/2 から 1/10 とはるかに少ないと推定される。

表 3.18 に照明回路の電子化の研究・実用化の経緯³⁰⁾を示す。照明回路は、当初磁気バラストを用いる方式であったが、1940 年代後半に高周波点灯回路の研究が開始され、1970 年代から蛍光ランプ用高周波点灯回路が実用化されてきた。蛍光ランプ用高周波点灯回路(インバータ)の技術開発の歴史は、図 3.22 に示すように、1980 年代に多灯用、コンパクト蛍光ランプの高周波点灯回路が開発され、1990 年以降電球形蛍光ランプ用高周波点灯回路やマイコン制御形高周波点灯回路の開発が進められてきた³¹⁾。一方、図 3.23 は日本市場における点灯回路の電子化率(=電子式点灯回路/全点灯回路)の変化を示す。住宅用

の方が工場用に比べ電子化率が高い。これは、住宅用は演色性や快適性が重視され、チラツキの少ない高周波点灯が受け入れられたためと考えられる。図 3.24 に点灯回路の効率の変化を蛍光ランプを例にとって示す³⁰⁾。磁気バラストから高周波点灯、さらに高周波点灯専用蛍光ランプの採用により、約 30%の効率改善がなされた。さらに、点灯回路の重量も、表 3.19 に示すように、約 1/4 に軽量化されてきた³⁰⁾。

3.2.1 照明回路の現状

照明システムに用いられる回路としては、

- 1) 光源の安定点灯に用いられる「点灯回路」
- 2) 放電ランプの始動に用いられる「始動回路」
- 3) 光源の光出力の調整に用いられる「調光回路」

の三種類がある³²⁾。

このうち、1) と 2) は放電ランプを点灯維持するのに不可欠な機能であるのに対し、3) は舞台照明や演出照明に使用され、照明環境の多様化や創出などのため、付加的な照明回路として用いられる。

表 3.20 に点灯回路および始動回路の種類と光源ごとに実用化されている点灯回路と始動回路の一覧表を示す。表 3.20 から点灯回路は主として蛍光ランプ、HID ランプなどの放電ランプの始動と安定点灯に使用される³³⁾。

次に、点灯回路・始動回路に用いられる部品・素子の一覧表を表 3.21 に示す。また、これら部品の材質の一覧表を表 3.22 に示す。

3.2.2 照明回路における環境上の課題

照明回路における環境上の課題としては、大別して三つがある。

第一に照明回路に含まれる有害物質である。これらには、

- 1) 部品洗浄用のフロン
- 2) 部品または部品のはんだ付けに用いられるはんだ
- 3) 非常用電源に用いられる Ni-Cd 電池
- 4) プリント基板に含まれる臭素系難燃材

がある。このうち、1) はフロンがオゾン層を破壊して有害紫外線量を増加させ、2) ははんだに含まれる鉛が地下水や土壌を汚染する可能性が指摘されている^{34, 35)}。3) は Ni-Cd 電池に含まれる Cd が河川や海水を汚染し、4) は臭素系難燃材がダイオキシンなどの有毒ガスを発生することが指摘されている³⁶⁻³⁹⁾。

これらの物質のうち、1) のフロンと 2) のはんだ、4) の臭素系難燃材は他の家電製品やコンピュータなど一般の電子回路と共有する課題であり、代替技術の開発が積極的に進められている。フロンは 1992 年のモントリオール議定書締約国会議の国際合意に基づき、

1995 年末にフロンが全て廃止され、特定フロンも 1996 年末に全廃し、さらに代替フロンも 1996 年から規制がスタートし、2030 年までに全廃される予定である³⁷⁾。このようにフロンによる環境への影響はフロンや代替フロンの使用禁止措置とともに改善されてきている。3) の Ni-Cd 電池については、リサイクル法の対象物質とされ、法的に回収が行われている。また、2) はんだと 4) の臭素系難燃材は代替技術の開発が積極的に進められているが、フロンのように代替できるレベルに達していないのが現状である。

第二には電球形蛍光ランプ³²⁾のように、回路とランプが一体型として構成された光源では、回路とランプとで寿命が異なることにより、使用可能な状態で一部のパーツが廃棄されることがある。一般に、電球形蛍光ランプでは点灯回路の寿命が長いので、電球形蛍光ランプの寿命はランプ発光管の寿命により決定されている。

第三に点灯回路から放出される高周波の放射ノイズや電源ラインに重畳される高調波電流がある。これらについては、法的規制が実施されてきている。照明器具については、97 年 10 月より高調波抑制ガイドラインが施行される^{40, 41)}。

このように、照明用回路の環境課題は、一般の電子回路の環境対策とともに改善が進められている。

3.3 照明器具

3.3.1 照明器具の働きと構成

照明器具は、JIS Z8113 に「ランプの配光及び光色を変換する機能を持ち、それらのランプを固定し保護するため、及び電源に接続するため必要なすべての部分を持つ器具、点灯に必要な付属装置を含む」と定義されている。具体的にいえば、図 3.25 に示すように、照明器具はランプ・点灯装置(点灯回路)などを含む電気部品、光学部品及び構造部品などをつなぎ、まとめ上げて照明の場に結びつけ、照明技術的なニーズや意匠的なニーズに答える装置である。

照明器具の特色は、非常に種類が多いことである。メーカー 1 社で数千種類の照明器具を製造していることは珍しくなく、最も多い場合は、1 社で 1 万数千種を取り扱っている場合がある。照明器具は、使用するランプ、形状(ダウンライト、スタンドなど)、取り付け状態及び機能(光学的性能や電氣的性能、防水、防塵など)により分類される。これらの分類要素の組み合わせに意匠(デザイン)の違いが加わったものが全体の種類となる。

3.3.2 照明器具の構成材料

1) 部品の分類とその主な材料

照明器具に使用される部品は、ランプを除き、電気部品、光学部品、構造部品、意匠部品に大別される。電気部品はランプの始動・点灯に必要な部品で、安定器、変成器類、スタータ、電子部品などがある。これらの材料としては、鉄、銅、セラミクス、プラスチックが用いられている。光学部品は光の収束、拡散などを制御するものであり、材料としては、プラスチック、ガラス、アルミニウム、紙、鉄板+塗料などが使用される。また、構造部品は照明器具の基本形を維持するものであり、材

料として鉄やプラスチックが使用される。さらに、意匠部品は、種々の外観を実現するものであり、材料としてプラスチック、ガラス、アルミニウム、鉄、木材、紙(和紙)などが使用されている。

2) 構成材料の重量比

前記のように、照明器具メーカー各社が消費者の要求に沿い、異なった形状の照明器具を多機種製造している。これらの照明器具は、毎年毎年変化しているため、加重平均で単純に構成部品の重量比を求めることは、一般に非常に困難である。そこで、日本照明器具工業会では、1995年7月に関係各社の代表的な照明器具のデータをもとに、照明器具構成材料の全体としての総合的な数値を求めた。その結果を表3.23に示す。また、表3.24にランプ種別ごとの平均重量を示す。これらは、照明器具の構成部品の大きな重量構成傾向を示すと考えてよい。

3) 生産数の変遷

表3.25に1986年(昭和61年)から1995年(平成7年)までのランプ種類ごとの日本国内での生産数量を示す⁴²⁾。

表3.25から、照明器具全体として、約5800万台から7700万台生産され、約70%が蛍光ランプ器具である。白熱電球器具は年間約1600万台から2000万台生産され、蛍光ランプ器具は、年間約4000万台から5600万台生産されてきた。また、HIDランプ器具は、年間約220万台から350万台生産されてきた。生産数の変化を年度別にみると、バブル期の1988年から1991年までの生産数が多く、1992年以降バブルの崩壊とともに生産数が減少している。1995年の白熱電球器具と蛍光ランプ器具の生産数はバブル以前の1987年のレベルに留まっている。しかし、HIDランプ器具は1986年以降増加を続け、バルブ期以降若干減少はしたものの、白熱電球器具や蛍光ランプ器具に比べ大きく増加している。これは、省エネルギー化、省資源化の流れに沿い、大型で高効率なHIDランプが受け入れられていることを示すものである。

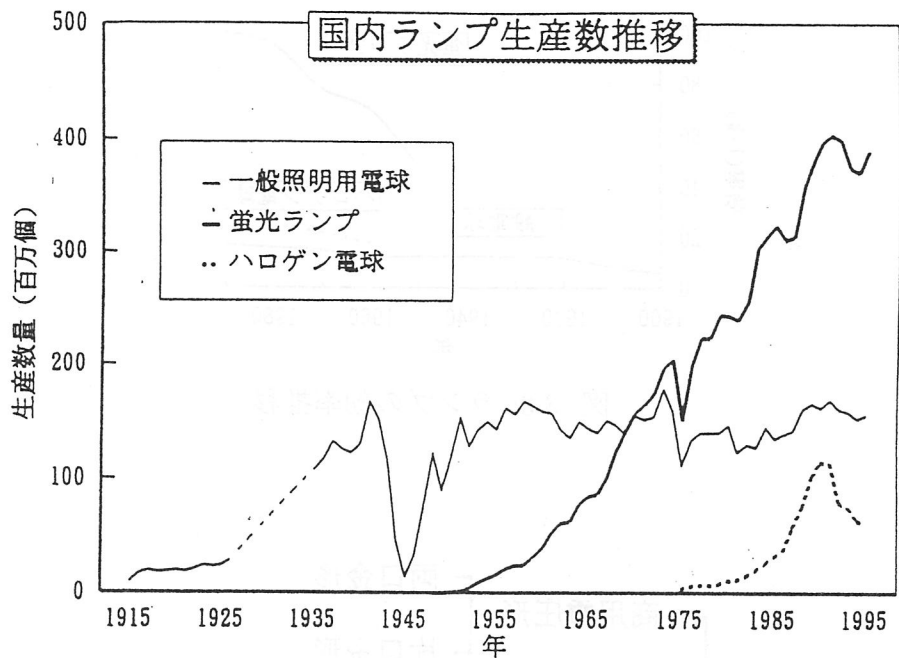
参 考 文 献

- 1) 照明学会：エネルギーの有効利用から見た照明特別委員会報告書「エネルギーの有効利用から見た照明」、1993年、56頁
- 2) 日本電球工業会編：日本電球工業会報399、1996年、19頁
- 3) 日本規格協会：JIS C 7501 一般照明用電球(1983年)
- 4) 日本電球工業会編：日本電球工業史第3追補版、26頁～28頁
- 5) 日本電球工業会：JEL 118 一般照明用小形電球(1992年)
- 6) 日本規格協会：JIS C 7527 ハロゲン電球(1994年)
- 7) 照明学会編：ライティングハンドブック第1版、131頁、オーム社
- 8) 照明学会編：ライティングハンドブック第1版、129頁、オーム社

- 9) 川勝ほか：照明学会誌、第 69 巻、第 10 号、1985 年、13 頁
- 10) 森谷ほか編著：「ガラス工学ハンドブック」第 10 版、664 頁～665 頁、朝倉書店
- 11) 照明学会編：ライティングハンドブック第 1 版、130 頁、オーム社
- 12) Neumann,G.M. : High-temperature thermodynamics of chemical transport reactions in the tungsten-bromine system of halogen-incandescent lamps and its influence by hydrogen, oxygen and carbon , Thermochimica Acta,8 (1974), pp.369-379
- 13) Geszti,T. and Vicsek, T : A thermodynamical study of halogen lamps with carbon additives, J.Phys.D Appl.Phys., 9 (1976),pp.903-912
- 14) 河本康太郎：照明学会誌、第 72 巻 (1988 年)、第 5 号、p.9-13
- 15) W.Elenbaas:Philips Technical Library,Light Sources,The Macmillan Press LTD,1972,p.105
- 16) 柴田治男：蛍光ランプの多品種化の動向、照明学会誌、第 79 巻 (1995 年)、第 12 号、p.721
- 17) (社) 日本電球工業会製品アセスメント委員会、電球工業会ガイド-005、ランプ及び安定器、製品アセスメントマニュアル、1992 年、p.9
- 18) 電気硝子工業会、電気ガラス 15 号、p.36
- 19) 青池南城：やさしい照明技術、蛍光灯のイメージチェンジの主役、-インバーター-、照明学会誌、第 78 巻 (1994 年)、第 4 号、p.165
- 20) 各社カタログ
- 21) 各社カタログ
- 22) 八木敏治：蛍光ランプの先端技術、蛍光ランプの小形化、照明学会誌、第 79 巻 (1995 年)、第 12 号、p.730
- 23) 蛍光ランプガイドブック、(社) 日本電球工業会、平成 6 年 3 月、p.19
- 24) 日本電球工業会 電球工業会報より作成
- 25) 日本電球工業会 電球工業会報より作成
- 26) 日本電球工業会 電球工業会ガイド-005 より一部抜粋
- 27) MSDS より抜粋
- 28) 小島、「電球類の生産統計」、照明学会誌 Vol.80 No.8B (1996.8) P659
- 29) 原、「照明器具の生産統計」、照明学会誌 Vol.80 No.8B (1996.8) P660

- 30) 青池、松尾、黒川、「放電ランプ用安定器、点灯回路におけるインバータ化技術の動向」、信学技報 PE95-1 (1995.5) P1-10
- 31) 西村、「新しい照明とカーエレクトロニクス 最近の照明用電子点灯装置 蛍光灯インバータを中心として」、第15回次世代電源技術に関する調査委員会資料
- 32) 「車や電化製品の廃棄物から高濃度の水銀・鉛が流出 環境庁」、朝日新聞 1994年1月10日付朝刊 P1
- 33) 「廃棄された家電製品 危険酸性雨にさらされ鉛流出」、毎日新聞 1993年9月18日付夕刊 P10
- 34) 矢野、「基板材料における環境問題への対策」、サーキットテクノロジー Vol.19 No.6 (1994) P418-421
- 35) 立川、渡辺、「有機臭素系難燃剤の環境問題」、公害と対策 Vol.26 No.7 (1990) P34-44
- 36) 立川、渡辺、「有機臭素系難燃剤の環境問題 (II)」、公害と対策 Vol.26 No.8 (1990) P44-48
- 37) 例えば、宮崎、「脱フロン、エタン行動計画の現状と全廃に向けての展望」、エレクトロニクス実装技術 Vol.10 No.12 (1994) P22-25
- 38) 例えば、照明学会編 「ライティングハンドブック」(1987) P156-166
- 39) 例えば、照明学会編 「ライティングハンドブック」(1987) P136-137
- 40) 「家電・汎用品の高調波抑制ガイドラインの対策について」、(社)日本照明器具工業会会報 照明、(1994.11) P2-8
- 41) 「家電・汎用品の高調波抑制ガイドラインの実行計画」、(社)日本照明器具工業会会報 照明、(1995.3) P6
- 42) 原、「照明器具の生産統計」、照明学会誌 Vol.80 No.8B (1996.8) P660

図表



照明学会75年史データ及び
電球工業会報より引用

図 3.1: 国内ランプ生産数推移

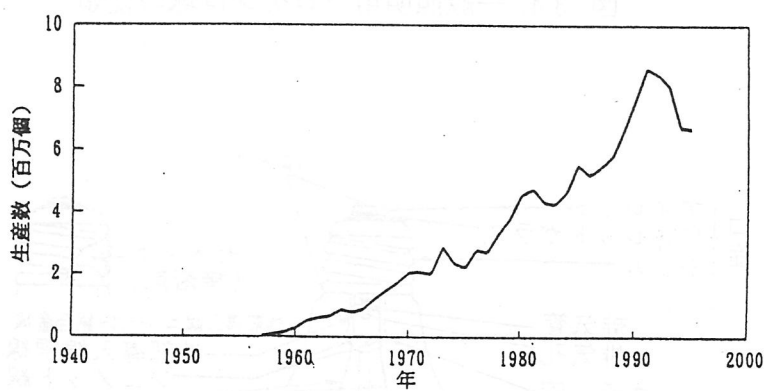


図 3.2: 国内 HID ランプ生産数推移

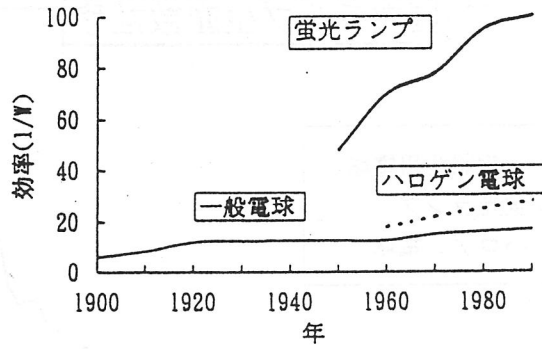


図 3.3: ランプの効率推移

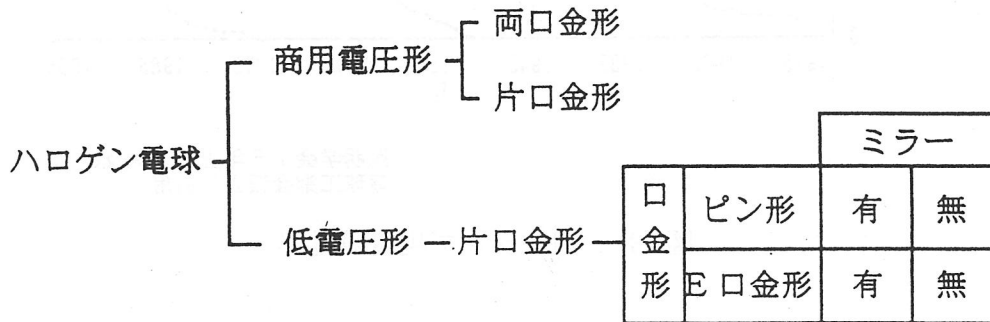


図 3.4: 一般照明用ハロゲン電球の種類

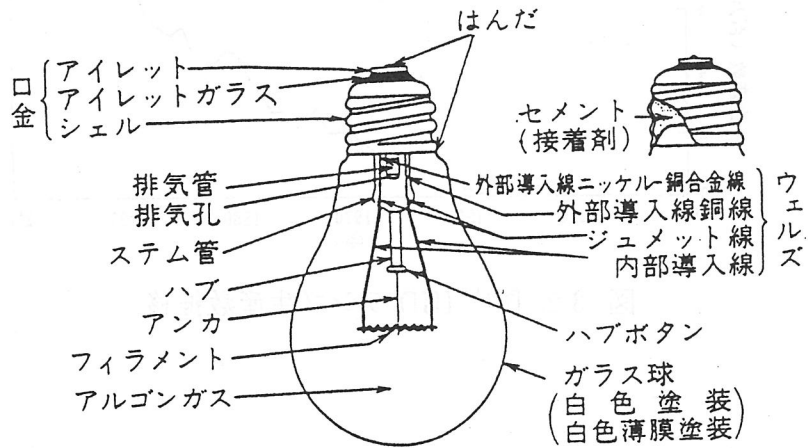


図 3.5: 一般照明用白熱電球の構造とその名称⁸⁾

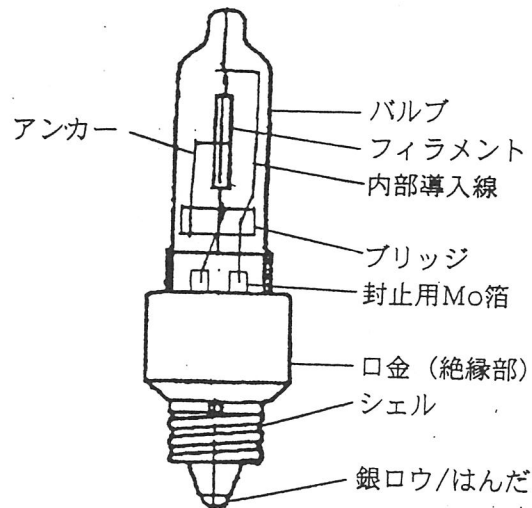


図 3.6: 一般照明用ハロゲンランプの構造とその名称

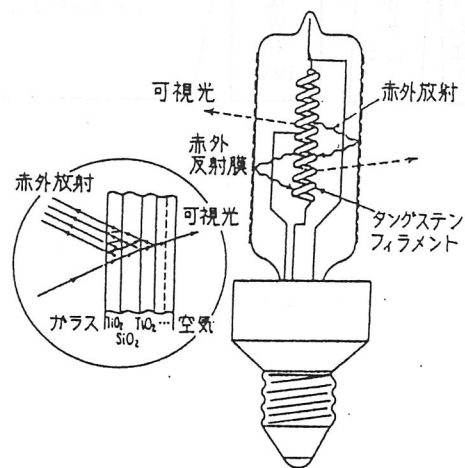


図 3.7: 赤外反射膜応用ハロゲンランプの構造と原理⁹⁾

表 3.1: 一般用照明電球の入力に対する放射エネルギー、熱損失の要素⁷⁾

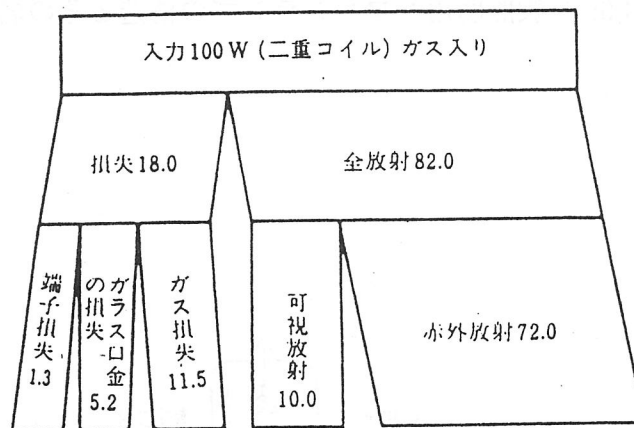


表 3.2: 一般照明用白熱電球に使用されている材料

		100V60W 電球	100V60W クリプトン電球	使用材料など	
各種 構成 物の 重 量 (g)	1	バルブ	23	8	ソーダ石灰ガラス (SiO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO)
	2	白色薄膜	0	0.03	SiO ₂
	3	封入ガス	1.6×10 ⁻⁴ *	0.05 **	* : Ar, N ₂ , ** : Kr, N ₂
	4	ステム部	4	2	鉛ガラス (SiO ₂ , PbO, Na ₂ O, K ₂ O,) , 外部導入線 : Cu, 封着部導入線 : シュメット線 内部導入線 : Fe又はCuにNiメッキ
	5	フィラメント	0.02	0.02	W
	6	シェル・アレット	1.5 (Al)	1.5 (黄銅)	シェル : アルミニウム / 黄銅, アレット : 黄銅
	7	アレットガラス	4.5	2	ソーダ石灰ガラス
	8	口金接着剤	1.5	1	フェノール系樹脂
	9	半田	0.3	0.2	鉛を主成分とする半田
		0.1または0*	0.1	* : 溶接の場合	
ランプ 1 個の重量 (g)		33	14		
寸法 (mm)	最大長さ	107	61		
	最大径	φ60	φ35		
備考	包装材料重量 (g)	6*	1.2**	* : 紙, ** : フラスタックシート	
ランプ外観					

表 3.4: 封入ハロゲン化合物の例¹¹⁾

管壁負荷 [W/cm ²]	寿命 [h]	ハロゲン化合物
15~25	2 000	I ₂ または HI, BBr ₃
15~25	500~2 000	CH ₃ Br, CH ₂ Br ₂ , CHBr ₃ , BBr ₃
15~30	25~500	CH ₂ Br ₂ , CHBr ₃ , HBr, (PNBr ₂) _n
30~60	5~500	CH ₂ Br ₂ , CH ₃ Br, CHBr ₃ , CHCl ₃ , CH ₂ Cl ₂ , HBr, BBr ₃
60~120	1~100	Br ₂ , Cl ₂ , CHBr ₃ (O ₂ 添加)

表 3.5: 水銀と希ガスの共鳴放射の波長、電離電圧および準安定電圧

ガスの種類	共鳴放射 (nm)		電離電圧 (eV)	準安定電圧	
Hg	254	185	10.43	4.66	5.43
He	58.4	59.2	24.59	19.82	20.61
Ne	73.6	74.4	21.56	16.62	16.72
Ar	104.8	106.7	15.76	11.53	11.72
Kr	116.5	123.6	14.00	9.82	10.51
Xe	129.6	147.0	12.13	8.31	9.45

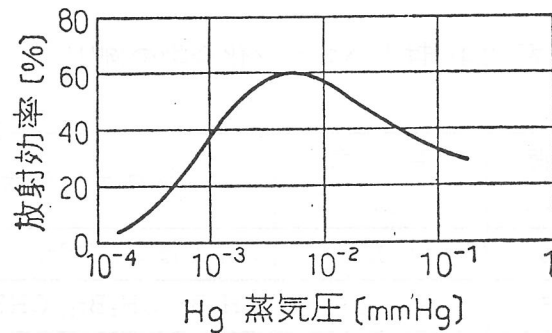


図 3.8: 水銀共鳴放射 (253.7nm) の放射効率と蒸気圧の関係¹⁵⁾

消費電力 36W				
陽光柱への入力 30.1W				電極 損失 5.9W
水銀の 可視放射 1.2W	紫外放射 22.5W		陽光柱 での 損失 6.4W	
蛍光体の 可視放射 8.8W	近 紫外 放射 0.2 W	熱 13.5W		
可視放射の合計 10.0W, 3450 lm		熱 25.8W 熱放射、伝導、対流		

図 3.9: 蛍光ランプのエネルギーバランス (40W 省電力設計タイプ)¹⁶⁾

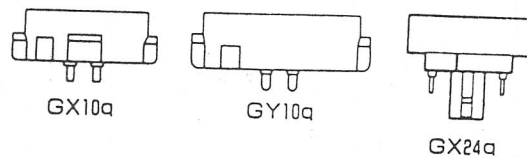
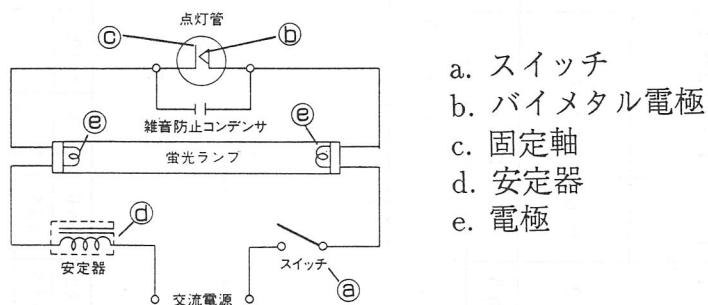


図 3.10: コンパクト蛍光ランプの口金



- a. スイッチ
- b. バイメタル電極
- c. 固定軸
- d. 安定器
- e. 電極

図 3.11: スタータ形蛍光ランプの点灯回路

表 3.6: 代表的な蛍光灯ランプの構造と材料¹⁷⁾

各種構成物の重量	直管形										環形			コンバクト形				材質
	FL6	FL10	FL15	FL20SS	FLR40S	FL40SS	FLR110H	FCL30	FCL32	FCL40	FPL18	FPL27	FPL36	FPL55				
1 ガラス管 (g)	≒18	≒50	≒60	≒90	≒235	≒185	≒580	≒135	≒180	≒240	≒74	≒82	≒134	≒170	ガラス管の組成は概ね下記%範囲内にある(ノ ーダガラス) SiO ₂ Na ₂ O+K ₂ O MgO+CaO Al ₂ O ₃ (69-71) (17-19) (7.5-9.5) (2-3)			
2 蛍光体 (g)	≒0.4	1~2	1~2	2~3	5.5~6.5	4.5~5.5	14~15	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5.5	≒1.2	≒2.0	≒2.4	≒3.5	照明用として最も一般的な白色はSb及びMn で付したハロ磷酸カルシウムであり一般式と しては 3Ca ₃ (PO ₄) ₂ ·Ca (ClF) ₂ : Sb ₂ Mn 又は希土類蛍光体を使用している。			
3 電極 (g)	≒2	≒6	≒7	7~8	≒10	6~7									システム及び排気管は鉛ガラスでありシステムに植 込まれた導入線の先端は電子放射物質を塗布し たタンダステンのファイラメントが懸掛されてい る。重量的には大半がガラスである。			
4 封入ガス (Torr)	≒0.5	2~4	5~8	2~3.5	≒0.8	≒1.0	≒1.3	≒1.5	アルゴン等の希ガスが2~3Torr(270~400Pa) 封入されている。									
5 水銀 (mg)	3~30	6~25	10~30						管内に蒸気として存在するのは極一部であり 大半は管壁に付着している。尚、一部の品種に はアマルガムが使用されている。									
6 口金 (g)	3~4	3~4	8~10						直管ランプの口金は鉄部はアルミニウム、通 電端子は黄銅、絶縁部はフェノール樹脂板から 出来ているのが一般的構造である。環形ランプ の口金は合成樹脂から成る本体に黄銅製前電端 子が挿込まれた構造となつている。コンバクト 形蛍光ランプの口金は合成樹脂である。									
7 口金接着 剤 (g)	1~2								フェノール樹脂等を混合した石粉(炭酸カルシ ウム)が焼成されて接着の役目をしている。 環形ランプにおいては接着剤は用いられない。 コンバクト形ランプにはシリコン樹脂又はフェ ノール樹脂が用いられている。									
ランプ1個の重量(g)	≒22	≒60	≒75	≒105	≒255	≒205	≒615	≒155	≒200	≒260	≒99	≒107	≒160	≒196				
ランプ の標準 寸法	15.5	25.5	27	32.5	27	38	29	226 (環外径)	300 (環外径)	374 (環外径)	216	247	410	556				

表 3.7: 電気硝子年間生産量 (電気硝子工業会資料) ¹⁸⁾

品目	生産量 (トン)			生産金額 (百万円)		
	平成 3年	4年	5年	3年	4年	5年
一般照明用	7,010	5,774	6,159	1,629	1,353	1,393
小型照明用	1,119	1,094	945	679	673	562
特殊照明用	3,233	3,472	2,654	1,553	1,677	1,320
車両・信号用	24,024	22,453	18,639	12,906	12,478	10,441
蛍光灯用	65,821	62,932	60,746	7,456	7,246	7,477
直管、その他	46,097	43,566	41,331	5,108	4,918	5,077
環形	19,724	19,366	19,415	2,348	2,328	2,400
ブラウン管用	674,955	598,534	630,745	192,824	173,705	168,174
モノクロ	40,444	32,610	28,132	14,196	9,746	7,468
カラー	634,511	565,924	602,613	178,628	163,959	160,706
その他電子管	28	37	47	271	294	328
管及び棒	25,734	22,842	23,810	7,449	7,281	7,585
他電気硝子	2,622	2,769	2,995	1,636	1,643	1,690
電気硝子計 (前年度比)	804,546 (110.7)	719,908 (89.5)	746,740 (103.7)	226,403 (108.4)	206,350 (91.1)	198,970 (96.4)
一般硝子	194,406	168,551	173,160	53,147	50,775	44,916
総合計	999,152	888,459	919,900	279,550	257,125	243,886

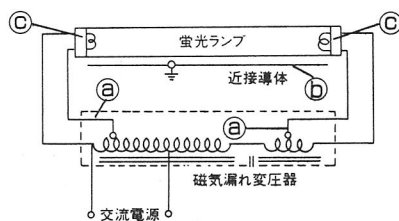


図 3.12: ラピッドスタート形蛍光ランプの点灯回路

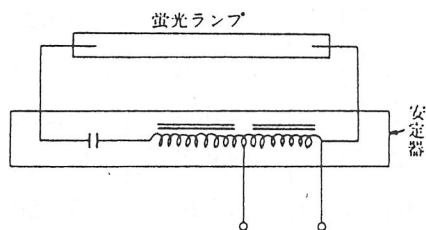


図 3.13: スリムライン形蛍光ランプの点灯回路

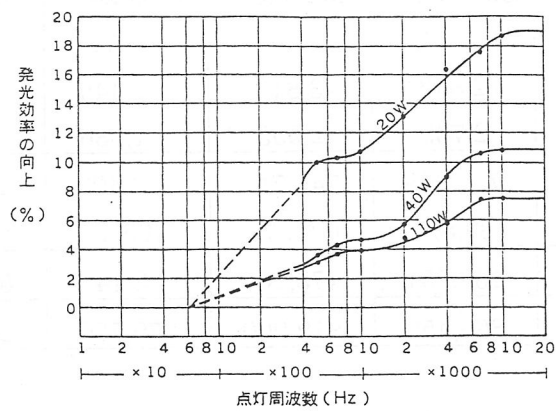


図 3.14: ランプ効率と点灯周波数との関係 (ランプ電力は 60Hz 定格値一定、20W(管長 0.6m)、40W(管長 1.2m)、110W(管長 2.4m))¹⁹⁾

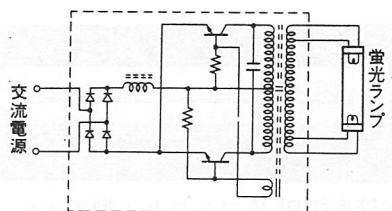


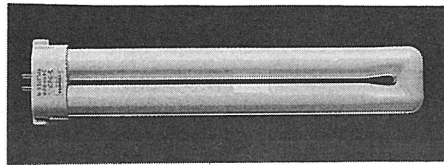
図 3.15: 電子式点灯回路

表 3.8: 代表的な直管形蛍光ランプの特性²⁰⁾

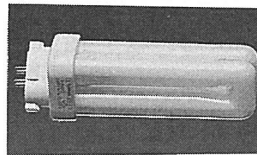
品 番	電力 (W)	全光束 (lm)	効率 lm/W	定格寿命 (h)
FL20EX-N/18	18	1470	82	8500
FL40EX-N/37	37	3560	96	12000
FLR40S/EX-N/M・36HG	36	3450	96	12000
FLR110H/EX-N/A・100HG	100	9220	92	12000
FL20S・W	20	1230	62	8500
FL40S・W	40	3100	78	12000
FLR40S・W・dotM	40	3000	75	12000
FLR110H・W・A	110	8960	81	12000

表 3.9: 代表的な環形蛍光ランプの特性²¹⁾

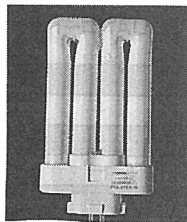
品 番	電力 (W)	全光束 (lm)	効率 lm/W	定格寿命 (h)
FCL30EX-N/28	28	2100	75	6000
FCL32EX-N/30	30	2510	84	8500
FCL30W/28	28	1670	60	6000
FCL32W/30	30	2050	68	6000



2本管型(FPLのコンパクト型蛍光ランプ)



4本管型(FDLのコンパクト型蛍光ランプ)



(1)FMLタイプ



(2)FWLタイプ

図 3.16: コンパクト形蛍光ランプの種類

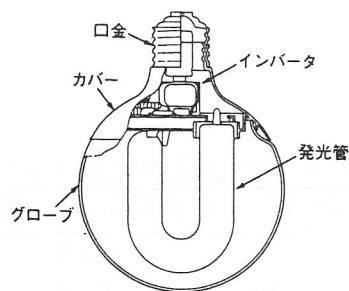







図 3.17: 外管グローブ付電球形蛍光ランプ

表 3.10: 代表的なコンパクト形蛍光ランプの特性

タイプ	外観図	形式	定格 ランプ 電力 (W)	寸法 (mm)		口金	ランプ 電流 (A)	全光束 (lm)	ランプ 効率 (lm/W)	定格寿命 (h)	質量 (g)
				管径	管長						
2本管		FPL27	27	20	243	GY10q-4	0.610	1800	66.7	7500	120
		FPL36	36	19	410	GY10q-6	0.435	2900	80.5	9000	187
		FPL55	55	20	560	GY10q-7	0.670	4500	81.8	9000	218
4本管		FDL13	13	17.5	112	GX10q-2	0.300	800	61.5	6000	81
		FDL18	18	17.5	119	GX10q-3	0.375	1070	59.4	6000	85
		FDL27	27	17.5	134	GX10q-4	0.610	1550	57.4	6000	97
		FXL18	18	17.5	127	GX10q-3	0.375	1070	59.4	6000	93
		FXL27	27	17.5	143	GX10q-4	0.610	1600	59.2	6000	100
		FXL36	36	20	243	GX10q-6	0.435	2900	80.5	7500	220
		FYL18	18	17.5	115	GRX10q-3	0.375	1070	59.4	6000	98
		FYL27	27	17.5	125	GRX10q-4	0.620	1550	57.4	6000	100
		FYL36	36	20	218	GRX10q-6	0.435	2900	80.5	7500	200
6本管		FHT16	16	12.5	100	GX24q-2	0.210	1200	75	10000	-
		FHT24	24	12.5	115	GX24q-3	0.300	1800	75	10000	-
		FHT32	32	12.5	131	GX24q-3	0.320	2400	75	10000	-

注1) 光源色はすべて3波長形電球色
 注2) 6本管形は高周波点灯専用

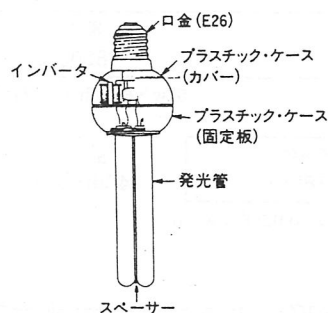








図 3.18: 露出形電球形蛍光ランプ

表 3.11: 代表的な電球形蛍光ランプの特性

電球形蛍光ランプ										代替対象の白熱電球						
タイプ	外観図	形式	寸法 (mm)		口金	定格電圧 (V)	定格消費電力 (W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	質量 (g)	ワット区分	外観図	寸法 (mm)		効率 (lm/W)	質量 (g)
			外径	長さ									外径	長さ		
外管グローブ付き		EFG10	95	130	E26	100	10	500	50	160	40		95	127	11	52
		EFG15	95	130			15	810	54	150	60		95	127	13	52
		EFG25	95	135			25	1370	55	180	100		95	127	14	52
		EFT10	70	139			10	500	50	150	40		55	98	13	30
		EFT15	70	139			15	810	54	140	60		60	109	14	32
		EFT25	70	149			25	1520	61	180	100		60	109	16	32
露出形		EFD15	50	145	15	900	60	95	40		55	98	13	30		
		EFD23	59	193	23	1550	67	130								
	EFD23	58	178	23	1550	67	135									

注) 光源色はすべて3波長形電球色

白熱電球
60w型

ランプ代 960円	電気代 8208円	計 9168円
160円×6個		57w×6000h×0.024円/w・h

電球形
蛍光ランプ
15w型

ランプ代 2100円	電気代 2160円	計 4260円
2100円×1個		15w×6000h×0.024円/w・h

図 3.19: 電球形蛍光ランプと白熱電球の点灯経費の比較

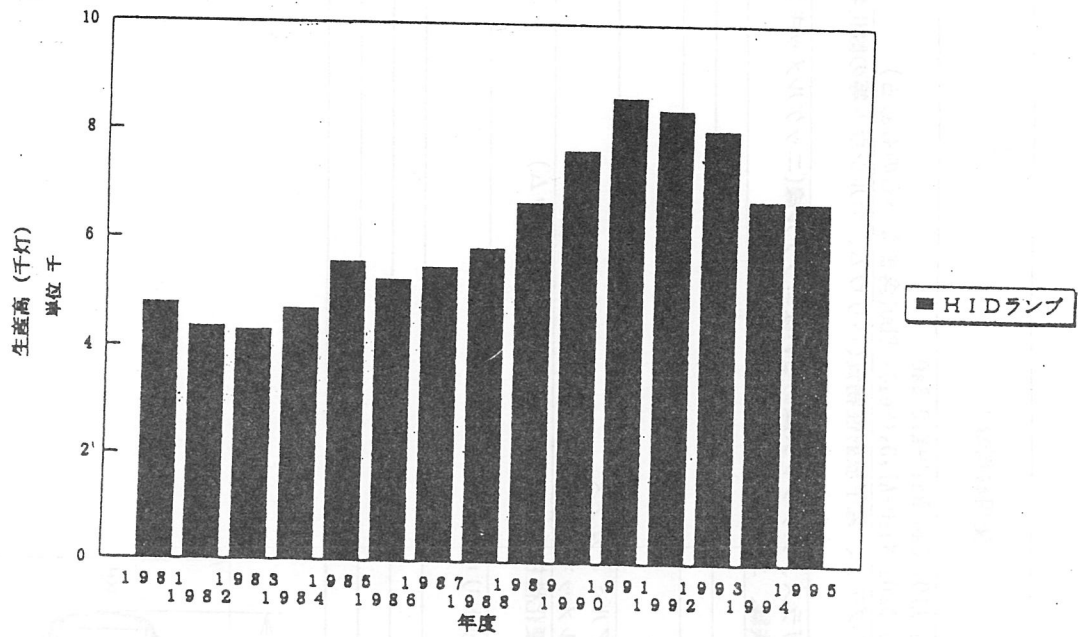


図 3.20: 電球類年間生産総計²⁴⁾

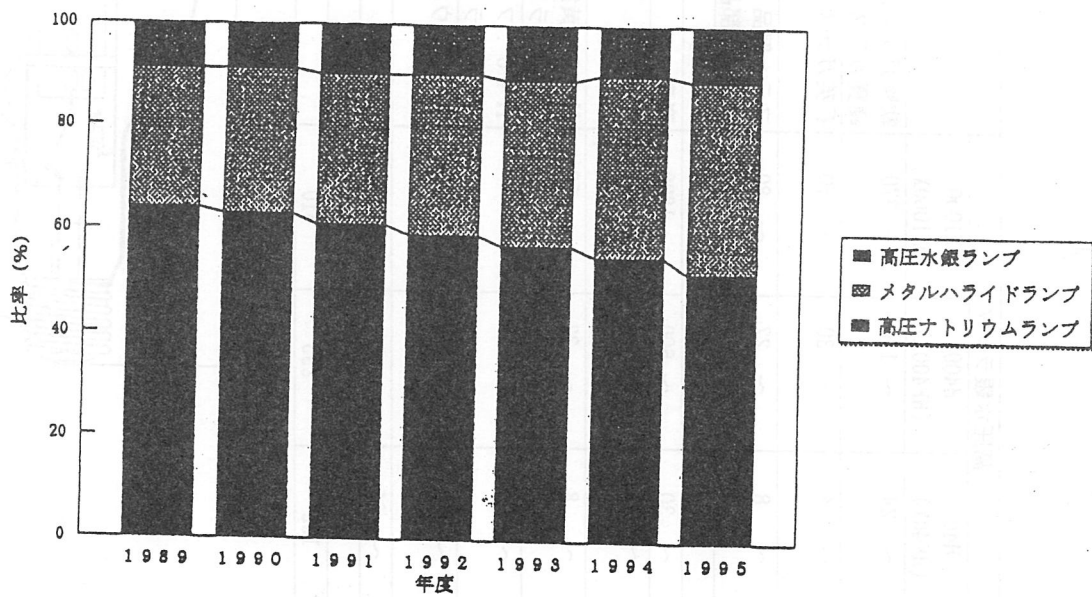
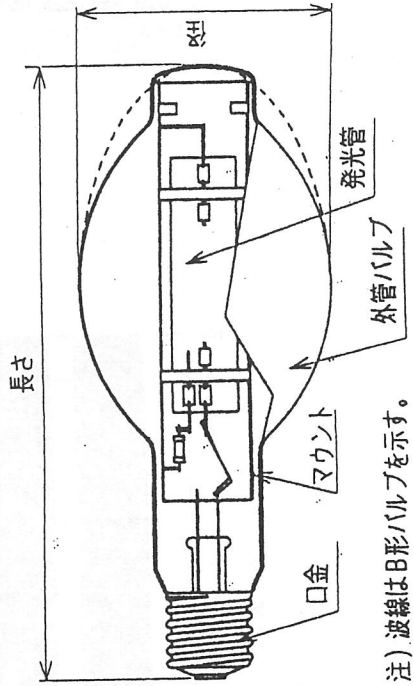


図 3.21: HID ランプ別生産比率²⁵⁾

表 3.12: 高圧水銀ランプに使用されている材料²⁶⁾

		高圧水銀ランプ			使用材料など
		H40 (HF40X)	H400 (HF400X)	H1000 (HF1000X)	
1	外管バルブ (g)	~ 24	~ 190	~ 370	軟質ガラス(ソーダガラス) SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO Na ₂ O+K ₂ O BaO 硬質ガラス SiO ₂ , B ₂ O ₃ , Na ₂ O+Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , PbO(含まないものもある) 石英ガラス、タングステン、モリブデン、電子放射線物質(バリウム、カルシウム等の酸化物)
2	発光管 (g)	~ 4	~ 30	~ 70	
3	マウント部品 (g)	~ 8	~ 27	~ 80	
4	封入物	ごく微量			システム部品：軟質ガラス、硬質ガラス、ステンレス線あるいはニッケル線(ニッケルメッキ) マウント部品：ステンレス線/鉄線、ニッケル線、金属皮膜抵抗 アルゴン 窒素
5	ガス (mg)	~ 30	~ 600	~ 1800	
5	水銀 (mg)	~ 8	~ 60	~ 100	
6	口金 (g)	~ 8	~ 32	~ 50	H40：黄銅とガラスあるいはアルミとガラス その他のランプ：黄銅にニッケルメッキ 絶縁物はガラスあるいは磁器 H40：フェノール樹脂等の熱硬化性樹脂を混合した石粉(炭酸カルシウム) その他のランプ：使用せず
7	口金接着剤 (g)	~ 1.3	-	-	ユーロピウム付活バナジウム酸イットリウム
8	拡散塗料 (g)	~ 0.2	~ 0.6	~ 1.5	
	(F品種) (g)	~ 61	~ 280	~ 570	
ランプ1個の重量 (g)		61	122	182	
ランプ寸法 最大径 (mm)		132	295	410	
最大長さ (mm)					
ランプ外観					



注) 波線はB形バルブを示す。

表 3.13: メタルハライドランプに使用されている材料²⁶⁾

各構成物の重量	メタルハライドランプ			使用材料など
	M100-L/BU (MF100-L/BU)	M400-L/BU (MF400-L/BU)	M1000-L/BU (MF1000-L/BU)	
1 外管バルブ (g)	~ 65	~ 190	~ 370	硬質ガラス SiO ₂ , B ₂ O ₃ , Na ₂ O+Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , PbO(含まないものもある)
2 発光管 (g)	~ 6	~ 30	~ 70	石英ガラス、タンクステン、モリブデン、電子放射性物質(希土類金属酸化物)
3 マウント部品 (g)	~ 15	~ 35	~ 58	ステム部品: 軟質ガラス、硬質ガラス、ステンレス線あるいはニッケル線(ニッケルメッキ) マウント部品: ステンレス線/鉄線、ニッケル線、金属皮膜抵抗、モリブデン線、ゲッター(ジルコニウム、アルミニウム)、保温材料(酸化ジルコニウム、アルミナ、マグネシア等) 磁器/ガラス(バイメタル支持体)
4 封入ガス	ごく微量			アルゴン、アルゴン・ネオン、キセノン、窒素、窒素・ネオン
5 封入物 (mg)	~ 200	~ 700	~ 2000	水銀
6 口金 (g)	~ 20	~ 60	~ 100	ナトリウム、スカンジウム、ジスプロシウム、ホルミウム、トリウム、タリウム、リチウム、ネオジウム、セシウム等のハロゲン化物(臭素、沃素)
7 口金接着剤 (g)	~ 8	~ 32	~ 50	黄銅にニッケルメッキ 絶縁物はガラスあるいは磁器
8 拡散塗料 (F 品種) (g)	~ 0.3	~ 0.6	~ 1.5	ユーロピウム付活バナジウム酸イットリウム
ランプ1個の重量 (g)	~ 100	~ 280	~ 570	
ランプ寸法 最大径 (mm)	72	122	182	
最大長さ (mm)	180	295	410	

ランプ外観

注) 波線はB形バルブを示す。

表 3.14: 高圧ナトリウムランプに使用されている材料²⁶⁾

各構成物の重量	コンバクトメタルハライドランプ			使用材料など
	HQD70E-LW	HQD150E-LW	HQD250E-LW	
1 外管バルブ (g)	約 15	約 27	約 37	石英ガラス
2 発光管 (g)	約 3	約 6	約 11	石英ガラス、タングステン、モリブデン、電子放射性物質(希土類酸化物等)
3 マウント部品 (g)	約 0.5	約 0.5	約 0.5	モリブデン、250Wは他にステンレス線ゲッター(ジルコニウム、アルミニウム等)
4 封入ガス	ごく微量			アルゴン
5 封入物 (mg)	約 15	約 10	約 15	水銀
6 口金 (g)	約 1	約 1.5	約 14	メタルハライドランプに示した一部の封入物が微量含まれている
7 口金接着剤 (g)	約 0.5	約 0.5	約 2	絶縁物は磁器、接触部はニッケルあるいはニッケルマンガン合金セラミック材料
ランプ1個の重量 (g)	約 24	約 36	約 66	
ランプ寸法	22	25	30	
最大径 (mm)	115.8	133.6	139.0	
最大長さ (mm)				

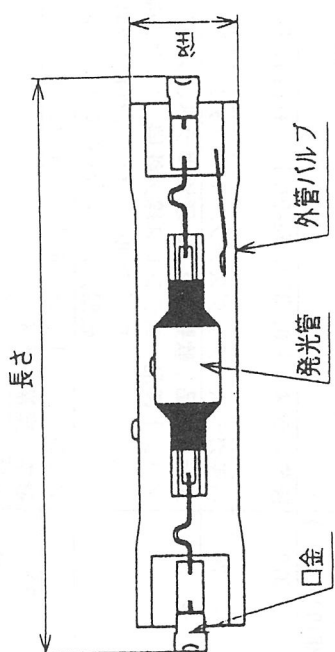


表 3.15: コンパクト型メタルハライドランプに使用されている材料²⁶⁾

構成物の重量	高圧ナトリウムランプ			使用材料など
	NH70 (NH70F)	NH360-L (NH360F-L)	NH940-L (NH940F-L)	
1 外管バルブ (g)	~ 65	~ 190	~ 370	硬質ガラス SiO ₂ , B ₂ O ₃ , Na ₂ O+Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , PbO(含まないものもある)
2 発光管 (g)	~ 3	~ 15	~ 40	透光性アルミナセラミック、タングステン、電子放射性物質(高圧水銀ランプと同じ) ニオブ、フリットガラス(アルミナ、酸化カルシウム等)
3 マウント部品 (g)	~ 20	~ 35	~ 70	ステム部品: 軟質ガラス、硬質ガラス、ステンレス線あるいはニッケル線(ニッケルメッキ) マウント部品: ステンレス線/鉄線、ニッケル線、金属皮膜抵抗、ニオブ線、タングステンファイラメント、ゲッター(バリウム)、磁器(ハイメタル支持体)
4 封入物の重量	ごく微量			キセノン
5 封入物の重量 (mg)	~ 20	~ 30	~ 30	水銀、ナトリウム
6 口金の重量 (g)	~ 8	~ 32	~ 50	黄銅にニッケルメッキ 絶縁物は磁器
7 口金接着剤 (g)	~ 0.3	~ 0.9	~ 2.0	酸化カルシウム
8 拡散塗料 (F品種) (g)	~ 100	~ 280	~ 570	
ランプ1個の重量 (g)	72	122	182	
ランプ寸法	180	295	410	
最大径 (mm)				
最大長さ (mm)				

ランプ外観

注) 波線はB形バルブを示す。

表 3.16: 主な化学物質の TLV、及び、LD50²⁷⁾

(MSDSより抜粋)

発光材料	TLV (mg/m ³)	LD50			備考
		経口投与 (mg/Kg)	腹腔内注射 (mg/Kg)	静脈注射 (mg/Kg)	
Hg	0.05				
LiI					
NaI				1300(ラット)	
CsI		2386(ラット)	1400(ラット)		
InI	0.1				In
TlI	0.1				Tl
SnI ₄	2				Sn
SnBr ₄	2				Sn
ScI ₃		4000(マウス)	755		
NdI ₃		5250(マウス)	600		NdCl ₃
DyI ₃		7650(マウス)	585		DyCl ₃
HoI ₃		5165(マウス)	312		HoCl ₃
TmI ₃		6250(マウス)	485(マウス)		TmCl ₃

○MSDS:Material Safety Data Sheet

○TLV :Threshold Limit Value

許容濃度;労働者が有害物質に連日暴露される場合に、当該有害物質の空气中的濃度がこの数値であれば、ほとんどすべての労働者に悪影響が見られない場合の濃度。

○LD50 :Lethel Dose Fifty

;実験動物に化学物質、薬品等を投与した場合、実験動物の50%が死亡する薬品投与量。

表 3.17: ランプと照明器具の生産高²⁸⁾²⁹⁾

ランプの種類	平成 3 年	平成 4 年	平成 5 年	平成 6 年	平成 7 年
白熱ランプ	168,743	159,683	157,538	152,404	154,578
	16,311	14,551	14,722	15,258	15,546
	(0.097)	(0.091)	(0.093)	(0.100)	(0.101)
蛍光ランプ	403,957	400,361	375,138	371,201	390,266
	54,814	48,234	44,819	44,484	44,614
	(0.136)	(0.120)	(0.119)	(0.120)	(0.114)
HIDランプ	8,655	8,440	8,067	6,670	6,731
	3,398	3,527	3,396	3,348	3,440
	(0.393)	(0.418)	(0.421)	(0.495)	(0.511)

上段：ランプ(千本)、下段：照明器具(千台)、()は器具比率(照明器具／ランプ)

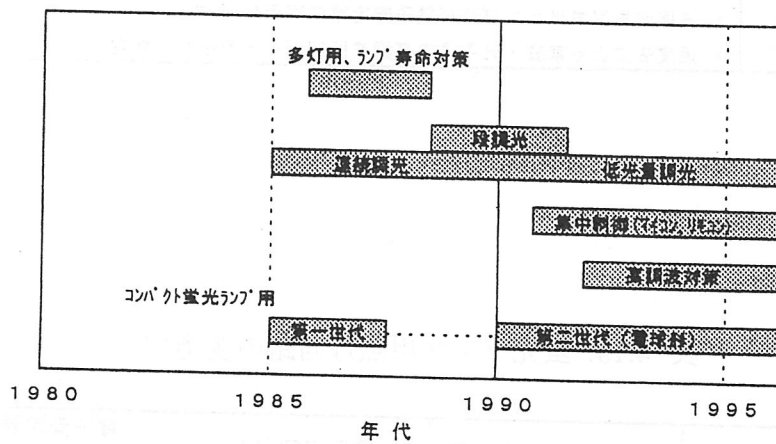


図 3.22: 蛍光ランプ用インバータの技術開発の変遷

表 3.18: 放電ランプ安定器の主な電子化技術実用化研究の経過³⁰⁾

西暦年(年号)	研究・実用研究
1948(昭和23)	● 蛍光ランプの高周波点灯特性、点灯回路の研究開始(米国)
1953(昭和28)	
1958(昭和33)	● トランジスターインバータによる蛍光ランプ高周波点灯装置車両用として実用化(米国、英国)
1967(昭和42)	● HIDランプ(メタルハライドランプ)用半導体パルス始動方式の実用化(米国)
1969(昭和44)	● 10~30W スタータ形蛍光ランプ用半導体スタータの実用化(日本) ● HIDランプの高周波点灯特性研究開始(米国)
1972(昭和47)	● 110W~220W 蛍光ランプ用ハイブリッド電子安定器の実用化(日本)
1978(昭和53)	● 40W 蛍光ランプ用トランジスターインバータ形電子安定器の実用化(日本)
1979(昭和54)	● 米国エネルギー省による40W 蛍光ランプ用電子安定器の実用評価試験開始(米国)
1980(昭和55)	● 30W 環形蛍光灯シャンデリア器具のインバータ化(日本) ● 非線形コンデンサ蛍光ランプ用半導体スタータ実用化(日本) ● トランジスターインバータ形蛍光灯電子安定器(部分平滑)の効率改善(日本)
1981(昭和56)	● 各種HIDランプの高周波点灯における放電不安定性とその安定化方法の研究(日本)
1982(昭和57)	● 総合効率100lm/W 高周波点灯専用形蛍光ランプ及び電子安定器の開発(日本) ● 高周波点灯専用形蛍光ランプ及び電子安定器(総合効率90lm/W)の開発(ヨーロッパ)
1984(昭和59)	● 電子安定器を組み込んだ蛍光灯スタンドの実用化(日本)
1986(昭和61)	● 小形メタルハライドランプ用電子安定器の開発(日本)
1987(昭和62)	● 高出力形電子安定器を組み込んだ家庭用蛍光灯器具の普及拡大(日本)
1990(平成2)	● 無電極蛍光ランプの実用化(日本)
1991(平成3)	● 高周波専用蛍光ランプ及び電子安定器の実用化(日本)
1994(平成6)	● 通産省による家庭・汎用品の高調波抑制ガイドラインの制定

表 3.19: 蛍光ランプ用点灯回路の変遷³⁰⁾

点灯回路の種類	磁気式(銅鉄)安定器 (+一般用蛍光ランプ)	電子安定器1 (+一般用蛍光ランプ)	電子安定器2 (+高周波点灯専用蛍光 ランプ)
効率 (lm/W)	71 (1)	83 (1.17)	92 (1.30)
重量 (kg)	1.3~1.4 (1)	0.47~0.62 (0.35~0.46)	0.35~0.39 (0.24~0.27)
容積 (cm ³)	500 (1)	674 (1.35)	613 (1.23)
実用化		1978年	1991年

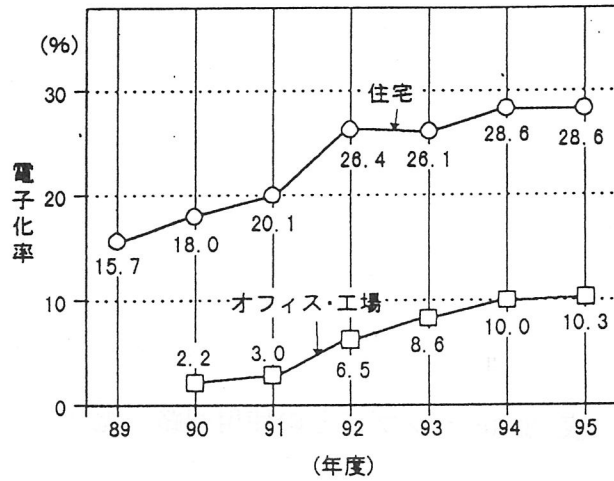


図 3.23: 日本市場における点灯装置の電子化率の変化 [電子安定器/(電子安定器+磁気式(銅鉄)安定器)]

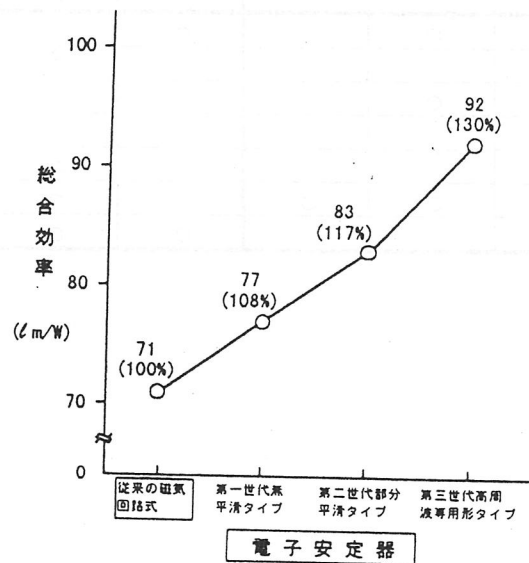


図 3.24: 40W サイズ蛍光灯の電子安定器による総合効率の変遷³⁰⁾

表 3.20: ランプごとの使用回路一覧¹⁸⁷⁾

ランプ 回路		蛍光ランプ			H I Dランプ			その他のランプ	
		一般 蛍光ランプ	電球形 蛍光ランプ	冷陰極 蛍光ランプ	水銀ランプ	メタハライドランプ	高圧 ナトリウムランプ		
点 灯 回 路	電 子 回 路	電流制限素子 (チョークコイル他)	○	○		○	○	○	低圧ナトリウムランプ
		低周波矩形波点灯					○		
		高周波点灯	○	○	○		○		ハロゲン電球ダウコンバータ
		直流点灯	○				○		
		無電極放電(E放電)							エキシマランプ
		無電極放電(H放電)	○				○		
						○			
始 動 回 路	素 子	機械スイッチ	○	○		○	○	○	
		放電ギャップ					○		
		半導体スイッチ	○	○			○		
		非線形コンデンサ	○				○	○	
	方 式	ハルストランス	○				○		
		キック電圧	○	○	○	○	○	○	
		LC共振				○	○	○	

表 3.21: 点灯回路、始動回路に用いられる部品、素子

点 灯 回 路	半導体素子	パワートランジスタ (バイポーラ、FET)、小信号トランジスタ (バイポーラ、FET)、ダイオード (整流用、小信号用)、ダイオードブリッジなど
	集積回路素子	モノリシックIC、ハイブリッドIC、アナログIC、デジタルIC、マイクロコンピュータ、メモリ、ロジックアレーなど
	リアクタ	電源トランス、パルストランス、PT、CT、チョークコイルなど
	コンデンサ	電解コンデンサ (アルミ、タンタル)、フィルムコンデンサ (ポリエステル、ポリプロピレン)、セラミックコンデンサなど
	抵抗器	炭素皮膜抵抗器、セメント抵抗器、巻線抵抗器など
	プリント基板	ガラスエポキシP板、紙エポキシP板など
	その他の素子・部品	ヒューズ、サーマルプロテクタ、接着剤、Ni-cd電池、電線など
始 動 回 路	機械スイッチ	バイメタルスイッチ、グロースタータなど
	半導体スイッチ	トランジスタ、サイリスタ、ダイオードなど
	放電管	放電ギャップ
	コンデンサ	非線形コンデンサ、電解コンデンサ、フィルムコンデンサなど
	リアクタ	パルストランス、チョークコイルなど

表 3.22: 照明用電子回路に使用する部品材質

品名	種類	材質		
コンデンサ	アルミ電解	誘電体 電極 構造 ケース	酸化アルミニウム アルミニウム箔および電解液 電解型 アルミニウム	
		固体タンタル	二酸化タンタル 金属タンタル及び低融点合金 焼結型 エポキシ樹脂	
	トランス (チョーク)	低周波用	コア ボビン 電線	珪素鋼板 フェノール樹脂, 麻リ, ポリウレタン ポリウレタン電線
		高周波用	コア ボビン 電線	フェライト フェノール樹脂 ポリウレタン電線
	半導体	ダイオード	素子 モールド材 フレーム	シリコン ガラスまたはエポキシ樹脂 銅
		トランジスタ	素子 モールド材	シリコン エポキシ樹脂
		サイリスタ	フレーム 素子 モールド材	銅 シリコン エポキシ樹脂
		集積回路(IC)	素子 モールド材	シリコン エポキシ樹脂
	温度素子	サーモスタット	基材 ケース 基材 外被	銅ニッケル合金およびバイメタル PBT樹脂または金属 金属酸化物(鉄, ニッケル, コバルト, マガネズ, 銅など) エポキシ樹脂
		サーミスタ	基材 外被	酸化亜鉛 エポキシ樹脂
バリスタ		基材 外被	エポキシ樹脂	
ヒューズ		口金 筒 可溶体	黄銅・ニッケル ガラス 合金線	
	基板	基材 薄体 基材 薄体 基材 薄体	紙・フェノール樹脂 銅 ガラス布補強紙・エポキシ樹脂 銅 ガラス布・エポキシ樹脂	

品名	種類	材質	
抵抗	炭素皮膜抵抗	基材 抵抗体	セラミック 炭素(カーボン)
		金属酸化物皮膜抵抗	セラミック 金属酸化物(錫およびアンチモン系)
	巻線抵抗	抵抗体	セラミック 金属酸化物(錫およびアンチモン系)
		抵抗体	抵抗線(マンガンまたはニクロム)
		抵抗体	セラミック 金属酸化物抵抗または巻線抵抗
	セメント抵抗	抵抗体	セラミック 金属酸化物抵抗または巻線抵抗
		抵抗体	シリコン系樹脂(セメント)
	ポリエステル	誘電体 電極 構造 外装	ポリエチレン・テレフタレート 銅またはアルミニウム箔 巻型 エポキシ樹脂または熱硬化性樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	ポリエチレン・テレフタレート アルミニウム蒸着 巻型 エポキシ樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	ポリプロピレン 銅またはアルミニウム箔 巻型 エポキシ樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	ポリプロピレン アルミニウム蒸着 巻型 エポキシ樹脂
	積層フィルム	誘電体 電極 構造 外装	ポリエチレン・テレフタレート アルミニウム蒸着 積層型 エポキシ樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	ポリエチレン・テレフタレート アルミニウム蒸着 積層型 エポキシ樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂
		誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂
積層セラミック	誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	エポキシ樹脂 エポキシ樹脂	
低誘電率系セラミック	誘電体 電極 構造 外装	低誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	低誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	低誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	低誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型 エポキシ樹脂	
高誘電率系セラミック	誘電体 電極 構造 外装	高誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型または積層型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	高誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型または積層型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	高誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型または積層型 エポキシ樹脂	
	誘電体 電極 構造 外装	高誘電率系セラミック 銀ハラジウム 単板型または積層型 エポキシ樹脂	

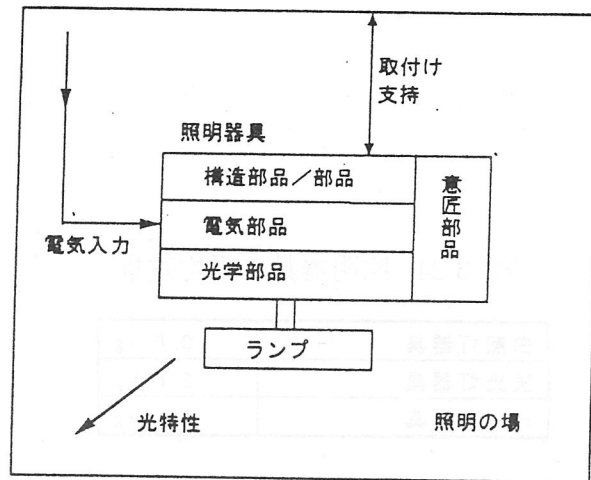


図 3.25: 照明器具の概念図

表 3.23: 照明器具構成材料の重量比

鉄(鋼板)	30.6 %
非鉄金属(銅、アルミ)	6.6 %
プラスチック	8.1 %
安定器	23.6 %
ランプ	7.0 %
木・紙	1.5 %
ガラス	1.5 %
梱包材	20.7 %
その他	0.4 %
合計	100.0 %

表 3.24: 照明器具の平均重量

白熱灯器具	0.6 kg
蛍光灯器具	3.6 kg
H I D 器具	13.1 kg

表 3.25: 照明器具の生産数量の推移⁴²⁾

(単位: 千個)

品目/年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年
白熱灯器具	16,120	17,029	19,376	19,924	19,537	19,194	16,930	16,698	17,241	17,490
蛍光灯器具	39,403	45,226	52,745	55,727	54,503	54,814	48,234	44,819	44,484	44,596
H I D 器具	2,192	2,446	2,968	3,220	3,392	3,398	3,529	3,396	3,348	3,440
合計	57,715	64,701	75,089	78,871	77,432	77,406	68,693	64,913	65,073	65,526

(出所: 通産省生産動態統計)

第4章 使用済み製品処理の現状と問題点

4.1 使用済み製品処理の現状と問題点

近年の活発な産業活動と消費の拡大に伴い図4.1に示すように、平成5年度における全国の産業廃棄物総排出量は約3億9,700万トンで資源化と再利用後の最終処分量は8,400万トンに上っている。家庭などから排出される一般廃棄物の総排出量は同じく5,030万トンで資源化後の最終処分量は1,496万トンと報告されており、また年間総排出量の推移は図4.2及び図4.3に示す通りである^{1,2)}。同じく最終処分量も増加し、埋め立て処分残余容量は全国平均で産業廃棄物約2.3年、一般廃棄物約8.2年と厳しい状況が報じられている一方、新設処分場の設置は多くの問題から益々困難な状況にある。

1990年代に入り、廃棄物問題、処分場、リサイクル問題の深刻化に伴い廃棄物処理・リサイクルを巡っては表4.1に示すように一連の法制度の整備が行われ、廃棄物の適正処理、リサイクルの促進等一定の成果をもたらした。特に平成7年に制定された容器包装リサイクル法は関係者の新しい役割分担を示したもので21世紀リサイクルシステムの先駆けとなるものと位置付けられている。

しかし、現状では図4.1にも示されるように排出量に対する資源化(再利用含)量の割合は、一般廃棄物で約4.4%、産業廃棄物で約39.0%であり、排出量の抑制、処分場の設置、リサイクルの促進等消費者、行政、製品製造者、処理・再資源化事業者が一体となって資源循環型社会システムの早期構築を図り、広義の環境保全に資さねばならない状況にあるのが現状であろう。

4.2 関連法体系

従来の環境政策の法体系は、「公害対策基本法」「自然環境保全法」を柱としていたが、社会経済活動による環境への負荷の増大、地球規模で対応すべき問題の顕在化、身近な自然の減少など<空間的広がり…地球規模、時間的広がり…将来の世代>に対応するため、課題ごとの捉え方ではなく、環境そのものを総合的に捉え計画的な施策を講じることが必要となり、平成5年11月[環境基本法]が制定された。従って[環境基本法]の下に個別の行政目的の遂行のために、表4.1に示したような個別法が位置付けられる。

環境基本法における事業者の責務としてあげられている中で、本項に関連する事項を抽出すると、・廃棄物になった場合に適正な処理が困難とならないような製品の開発、・製品が廃棄物になった場合における適正な処理方法についての情報の提供、・長期間利用可能な製品の開発、・商品の販売に際して過剰包装を見直す、・製品の製造に当たって再生資源を原材料として利用、等である。

法律の詳細について述べるのが主旨ではないので以下、表4.1の主たる個別法につき要点を記すと共に照明製品との係わりについて述べる。

4.2.1 再生資源の利用の促進に関する法律

略称でリサイクル法と称される法律で1991年4月に制定公布された。図4.4に示すように

- 1) 再生資源の利用促進に関する基本方針
- 2) 関係者の責務
- 3) 事業者に対する個別の措置

の三つの柱から成り立っている。

事業者に対する個別措置の中で [特定業種]3 業種、[第1種指定製品]21 製品、[第2種指定製品]5 製品、[指定副産物]6 副産物、が指定されている。

21 製品の指定のある第1種製品は、[第1種指定製品] → 使用後に容易にリサイクルできるように構造・材質等を工夫すべき製品 → 自動車、ユニット型エアコンディショナー、テレビ受像機、電気冷蔵庫、電気洗濯機 → 部品材料、構造、分別に係わる工夫の実施。設計に際して前記の事前評価(アセスメント)・実施、記録。情報提供。ニカド電池を使用する16種類の機器 → ニカド電池の取り外し容易化等構造の工夫。表示。設計に際し事前評価・実施、記録。情報提供。

<照明製品の係わり> ・ 照明製品としての直接掲名は無いが防災用照明器具(非常用、誘導灯)に、内蔵の電源としてニカド電池を使用している。ニカド電池は第2種指定製品に指定されており、器具の使用表示及び使用済み製品ではニカド電池を分離しリサイクルする処理が勧められる。この法律の主旨から [第1種指定製品] の措置事項は関係工業会が作成した事前評価マニュアルに沿って自主対応を図っている^{3,4)}。

4.2.2 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

1970年12月に制定され、その後数回の改正を経て1991年10月に大幅な改正が図られた。基本的に“廃棄物”に関する事柄は本法にて律せられる。本法における廃棄物の分類を図4.5に示した。廃棄物は“一般廃棄物”と“産業廃棄物”とに大別され、更に“特別管理一般廃棄物”および“特別管理産業廃棄物”に分類される。また、一般廃棄物の処理・処分の責務は市町村等自治体にあり、産業廃棄物の処理処分の責務は排出者にあるとされる。

一般廃棄物にあっても、市町村で適正処理が困難な製品として厚生大臣が指定した [適正処理困難物] は、大型電気冷蔵庫(250ℓ以上)、大型テレビ受像機(25インチ以上)、タイヤ、スプリングマットレスの4製品がある。これら製品に係わる事業者は適正な処理について市町村に協力しなければならない。また、適切な廃棄方法の措置を要するものとして、エアゾル缶、カセット式ボンベ、小型ガスボンベ、民生用小型蓄電池及び自動車用鉛蓄電池が挙げられている。

<照明製品の係わり> ・ 本法においても照明製品としての掲名は無いが、蛍光灯ランプを含む放電ランプの多くが、水銀が封入されているという製品の特徴からリサイクル問題も含めて4.3及び4.4項で述べるように掲名の如何に係わらず、リサイクルも視野にいたっての処理・処分の方法に環境保全上問題無しとしない。照明製品全体の廃棄量を求めるのは至難であるが、年次生産量を基礎に仮定した条件の下で得られた年間廃棄量は [蛍光ラ

ランプ、白熱電球、HID ランプ、照明用ハロゲンランプ]=約 72,000 トン、[蛍光ランプ器具、白熱灯器具、HID 器具…安定器、付属ランプ含]=約 271,000 トン、と推定され、製品の用途別比率は [ランプ類]…住宅向け→約 63%、事業場向け→約 37%、[器具類]…住宅向け→約 35%、事業場向け→約 65%、と業界で調査、推定されている。これらから排出される形態での廃棄物量は<一般廃棄物>ランプ類/約 45,000 トン、器具類/約 95,000 トン、計約 140,000 トン、<産業廃棄物>ランプ類/約 27,000 トン、器具類/約 176,000 トン、計約 203,000 トン、と推定される。これらの照明製品廃棄物推定量が平成 4 年の総量 (図 4.2 及び図 4.3) に占める比率を求めると、<一般廃棄物/約 0.28%> <産業廃棄物/約 0.05%> である。

・1957 年 (昭和 32 年) から 1972 年 (昭和 47 年)8 月迄の間、事業場用途の蛍光ランプ器具、水銀ランプ器具、低圧ナトリウムランプ器具の一部或いは全種の安定器の力率改善コンデンサに (電気絶縁油-含浸剤)PCB (ポリ塩化ビフェニール) が使用されていた。該当使用済み製品の処分に当っては、特別管理産業廃棄物・特定有害産業廃棄物/金属屑 (PCB 汚染物) に該当する (図 4.5 参照) ので法に従った保管をしなければならない。

4.2.3 容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律

直接的には一般廃棄物の排出量増大、最終処分場の逼迫及びリサイクルの一層の推進の必要性、一般廃棄物中の容器包装材が容積で約 60%、重量で約 25%を占める等々から、間接的には環境基本法に謳う循環型廃棄物処理への転換、国際的な整合等から 1995 年 6 月に制定された。本法の概要を図 4.6 に示した。対象容器包装は<金属缶> <ガラスびん> <紙製の容器包装> <プラスチック製の容器包装> で 10 品目が対象で二段階で施行される。対象 10 品目と施行年度を図 4.7 に示した。

本法の特徴は、[消費者] [市町村] [事業者] それぞれの責任分担を明確としたことにあり、消費者にあっては、分別排出・費用の最終負担を、市町村にあっては、分別収集の実施・収集費用の負担・分別基準の適合化を、事業者にあっては、選択肢はあるが・再商品化の責任がそれぞれ課せられる。

1996 年 12 月には 1997 年 4 月施行に向けて必要な省令及び告示が制定された。制定されたのは

- 1) 分別収集見込量等再商品化義務量の算定に必要な事項
- 2) 再商品化義務の履行期限
- 3) 特定事業者が認定を受け独自に再商品化を行なう場合の手続き
- 4) 特定事業者が認定を受け自主回収を行なう場合の回収率の条件等

である。算定基準から 1997 年度の再商品化義務総量は、無色のガラス製容器—272,600 トン、茶色のガラス製容器—131,600 トン、その他のガラス製容器—89,000 トン、PET ボトル—17,150 トン、となる。

<照明製品の係わり> ・ランプ・器具の製品形態から多くの場合、個装と外装に大別される。現状での包装材は関係業界調査でランプ類で約 26,000 トン、器具類で約 56,000 トン、と推定され、その材料は段ボールの比率が大きい。図 4.7 に示したように段ボール

は平成12年(西暦2000年)施行となるが事業者として再商品化の義務を負うこととなる。これらを背景に、包装の簡易化が求められることは明らかで、納入先例えば建築現場などには包装レスに近いものまで要求されよう。

4.2.4 環境管理・監査の国際規格(ISO 14000)の動向

1992年6月にブラジルで開催された「環境サミット」が発端となりISO(国際標準化機構)の下、6専門委員会が発足規格作りに向けて討議されている。討議の過程ではあるが、環境ISO規格の体系は以下が予定されている。

- 1) ISO14000~14009 環境管理システム関係
- 2) ISO14010~14019 環境監査関係
- 3) ISO14020~14029 環境ラベル関係
- 4) ISO14030~14039 環境パフォーマンス評価関係
- 5) ISO14040~14049 ライフサイクルアセスメント関係
- 6) ISO14050~14059 用語と定義関係
- 7) ISO14060~14100 予備

本規格は、企業が環境基準を守りましたという規格ではなく、企業が生産活動が続ける際のマネジメントやソフト面をどうするかという国際規格であると理解される。具体的には、企業がどういう環境ポリシーを持ち、どういう体制・組織で、どういう項目についてチェックしながら生産しているか、そしてチェックした結果がどうであったか、どこをどのように直したら良いかを、全部文書で記録するもので、結果として企業が環境対策をどの様に講じているかを外部から分かるようにする規格である。

1996年9月1日に「ISO-14000シリーズ」が発効。これを翻訳した日本工業規格(JIS)が同年10月21日に下記が先行して制定された。

- 1) JIS Q 14001 環境マネジメントシステム…仕様及び利用の手引き
- 2) JIS Q 14004 環境マネジメントシステム…原則、システム及び支援技法の一般指針
- 3) JIS Q 14010 環境監査の指針…一般原則
- 4) JIS Q 14011 環境監査の指針…監査手順…環境マネジメントシステムの監査
- 5) JIS Q 14012 環境監査の指針…環境監査員のための資格基準

4.3 使用済み照明システムの回収の現状と問題点

照明システム製品に限らず“使用済み製品”のリサイクルを前提としたルールについては、我が国のリサイクル政策と相俟って審議会などで政策の検討が行われている段階であ

る⁵⁾。したがって4.2.2項で述べた様に使用済み照明システムの回収・処理・リサイクルについての法的制約(整備)に基づくルールは存在していない。

廃棄物としての現状は図4.5に示したように、使用済みとなった照明製品は、「家庭」から排出される物は「一般廃棄物」に分類され、その処理・処分の責務は各自治体にある。また「産業活動を伴う事業所等」から排出されるものは「産業廃棄物」に分類され、その処理処分の責務は排出者自身にある。

これらの前提から言えば“回収”を論ずるには、先ず消費者の“分別排出”が大きな比重を占めることとなる「一般廃棄物」であり、対象となる照明システム製品では「蛍光灯ランプ」であろう。

使用済み製品として規制のない中においても一部市町村及び事業所は、使用済み蛍光灯ランプの分別回収を早い段階から実施した。市町村で先駆的に行ったのは広島市で、その実施は昭和51年6月から分別収集処分を行なっている⁶⁾。

石川県小松市では昭和58年~59年の段階で回収、破碎保管等を販売店も含めたモデル実験を進めた結果を報告している⁷⁾。

事業所関係では東京大学が昭和52年10月から回収を始めた。同大学での回収システム開発の経緯については、白須賀の詳述報告⁸⁾がある。分別回収された使用済み蛍光灯ランプは適正処理を野村興産(株)イトムカ鉱業所に委託している。

自治体の回収事例のフローを図4.8に示した。図示した例は前述したように各市町村それぞれの判断で行われており、回収及び適正処理委託費用(物流費、処理処分費)を市町村が負担している。具体的事例として昭和59年1月から分別回収を始めている高知市の最新の分別回収方法を図4.9に示した。水銀含有物を資源物としてとらえ再資源化を意識した分別回収方法である^{9, 10)}。

平成8年7月の統計で全国の市町村数は3,232であり例示した使用済み蛍光灯ランプの分別回収・適正処理処分を実施している市町村は約200程度に過ぎず、人口50万人以上の都市での実施数となると極端に少ないのが現状であり、問題点の一つである。

ある調査によれば、実施していない市町村の担当レベルでは“蛍光灯ランプに水銀が用いられている”認識は高いが、コスト、住民の分別排出負担、処理ルートが確立されていない、法的規制がない等の理由で実施に至っていないと推定され問題点としてあげられよう。他方、ランプメーカー(販売者)の責で実施すべきと言う声もある。

4.4 使用済み照明製品処理の現状と問題点

前章に述べたように、照明製品は現状で法的に“処理・リサイクル”が規定されていないが、最近の処理・処分場の不足、新設の困難性、資源の有効活用等多くの点から、法的規制の有無にかかわらず、“適正処理・リサイクル(再資源化)”を目指すべきであり、これの推進により、ISO-14000で言うところのライフサイクルアセスメント(LCA)の主旨とも合致すると考えられる。

これらの社会情勢から通産省は産業構造審議会の廃棄物処理・再資源化部会において“電気・電子機器のリサイクルを検討する分科会”を平成8年9月18日に新設、平成9年度にも該当品目をリストアップし、リサイクル目標を設定する方向と報じられている。検

討対象品目候補に「白熱電球」「蛍光ランプ」がリストアップされている。

厚生省においても、廃自動車、廃電子電気機器の“シュレッダー処分”に当たってのガイドラインを地方自治体向けに発行した¹¹⁾。これによれば、廃棄に当たって事前選別品目として、両製品に共通して「蛍光ランプ」が掲名されている。

環境庁では、有害物質を含む使用済み製品のリサイクルのあり方検討会を持ち平成8年11月に中間報告を行った。これによれば有害物質を使っている製品の環境汚染を防ぐと同時に製品リサイクルを促進するのを狙いとした法律整備を提言していく方針である。

この様に、これまで、比較的表面化しなかった使用済み照明製品においても蛍光ランプを中心として、適正処理・リサイクル(再資源化)の動きが見られる。他の製品にも共通するものであるが、使用済み製品の適正処理・リサイクル(再資源化)においては、“エコロジー”と“マテリアル資源”としての両面を持つが、水銀の使用という点から放電ランプ等は前者の比率の大きいリサイクルシステムが、器具等においては後者の比率の大きいリサイクルシステムが望まれると考えられる。

問題点は照明製品のリサイクルシステムが社会的合意として構築されていない点であり、消費者、事業者、行政、処理事業者が協力して「適正処理・リサイクル(再資源化)」の構築を推進すべきと考えられる。

4.4.1 蛍光ランプ・HID ランプ

両光源には原理的には違いがあるが、構成材料として“水銀”を使用している、近い将来にも代替物質がないと言う製品で共通している。本項では、身近なものとして蛍光ランプを中心として述べる。

照明用光源としての蛍光ランプは一般白熱電球に比べて、同じ消費電力で4~7倍の明るさが得られる光源、言い換えれば省エネルギー、高効率で認められて過去十数年にわたって家庭や事業場において広く普及してきた。それらに加えて演色性の改善、コンパクト化が図られ年間の生産量は1995年1月~1995年12月において390,266,000個に達している¹²⁾。

これらの内、大別すると約63%が一般家庭用途に、約37%が事業場の用途として用いられていると推定される。一般家庭で多く用いられる環形30Wと事業場で多く用いられる直管形40Wの製品材料構成の概略値を表4.2に示した。水銀量は一本当たり5~10mg封入されていると言われる。また製品重量の90%以上がガラス管で占められている。ガラス管の概略組成を表4.3に示した。

蛍光ランプの環境に対するスタンスを考えると直接的には水銀の有害性が議論され勝ちであるがランプを動作させるために必要な電力生産時に水銀を含んでいる化石燃料の大量使用といったエネルギー消費の側面も考慮したライフサイクルから考えると水銀による環境への影響は白熱電球より少ないと言える例を表4.4及び表4.5に示した¹³⁾。従って“蛍光ランプは省エネルギーの点から今後益々必要な光源であり、封入Hg量は代替技術が見出だせないことから必要最小限量とし、使用済み後廃棄物となった時環境に対して二次汚染を起こさないと共に主要材料の再資源化を図る”が基本的考え方であろう。

以上のような考え方からリサイクル技術は第一に、水銀含有物としての適正処理技術、第二には主要構成材料でのガラスの再資源化技術、用途開発が行われないと目的を達成で

きない。

適正処理・リサイクル技術の原型となるものは比較的早くから蛍光灯メーカーを中心として提案されたが、製造のオフラインとして工程中の不良品を対象に適用稼働されているに止まっている¹⁴⁻¹⁶⁾。

環境に対して先進的な排出者である一部市町村及び事業者の理解と連携を得て使用済み蛍光灯を適正処理・リサイクルとしてとらえ事業化したのは“乾電池”の水銀問題の適正処理・リサイクルで先鞭をつけた野村興産(株)である¹⁷⁻¹⁹⁾。同社イトムカ鉱業所における適正処理・ガラス、水銀リサイクル工程フロー概略を図4.10に示した。理想的には未破碎で回収されるのが望ましいが、減容化のため破碎して排出されるケースにも対応出来るよう水銀吸着装置を具備した破碎機を開発し、回収システムの中で使用されている。図4.10に示すように、(A)未破碎蛍光灯、(B)減容された破碎物、(C)水銀含有汚泥類、いずれの状態でも搬入されても処理、リサイクルできる工程である。主要材料であるガラスはカレットとして建築資材(断熱材-ガラスウール)用途に再資源化物として用いられている。また工芸用途への利用の試みもなされている²⁰⁾。水銀は、ばい焼により凝縮回収し精製後再利用される。従って最終処分される残渣物の無害化及び最小化が実現され、前述の環境に対する基本スタンスに合致しているプロセスであろう。

近年の動向を反映して野村興産以外にも使用済み蛍光灯の適正処理、リサイクルを目的として事業化する企業も出現しているが、水銀含有物の最終処分を不溶・コンクリート固化とするプロセスが提示されており、本製品処理の基本スタンスから問題無しとは言えないであろう^{21, 22)}。他方国外でもプラントが開発され紹介されている^{23, 24)}。しかし、事業としてのこれら提案が出てきたことは、使用済み蛍光灯についての関心の表れと理解できよう。

使用済み蛍光灯の適正処理・リサイクルの流れが社会システムの中で機能するための要件-[分別回収・量-輸送-適正処理処分-リサイクル資源の用途、経済性-消費者、行政、事業者等の費用負担を含めた役割の明確化]が満たされないと単に、適正処理技術・プラントの技術が確立しても求められている資源循環型社会の実現は難しい。現在、本製品処理事業で代表されるイトムカ鉱業所の搬入量は、年間2,000トン強と言われ、生産量から換算して4%に満たない回収率と推定される。

それぞれが、使用済みとなった製品の行く末に一層の関心、認識を深め社会システムとしての整備、それによる回収率の向上が図られることが急務である。

HIDランプの使用用途は事業場が中心であり、環境に対する一部の先進的排出者は主として水銀含有廃棄物としての適正処理を目的に野村興産等に処分を委託している。状況は蛍光灯の場合と同様であり、問題点、求められる要件も同様である。

4.4.2 照明器具類

照明器具を図4.11に示すような概念図としてとらえて代表的器具の構成材料の重量比を求めると、表4.6に示すように鉄-30.6%、安定器-23.6%、梱包材-20.7%、プラスチック-8.1%、非鉄-6.6%、ランプ-7.0%、と試算されており、これだけで全体の96.6%を占めている。使用済み製品の処理現状は[鉄+安定器=54.2%]であることから、一般廃棄物では不燃物(一部粗大ゴミ)、産業廃棄物では金属屑としてそれぞれ処理・処分されていると

推測される。照明器具として有害物含有部品としては、概念図に従えば、

- 1) 電気部品/PCB含有安定器, 防災用照明器具に内蔵されるニカド電池
- 2) 蛍光ランプ

が挙げられよう。1)のPCB含有安定器については1957年(昭和32年)~1972年8月(昭和47年8月)間に主として事業場用途向けに製造使用されていた。一般家庭の器具には使用されていない。使用しなくなってから24年が経過しており、その間交換などで排出されたものは排出者が保管している。排出するにあたっては照明器具工業会で適正処分について周知が図られている。ニカド電池は日本蓄電池工業会が中心となったリサイクルシステムが機能している。ランプについても前述のように適正な処理・処分が可能である事から、排出者は処理・処分に当たって、これら対象部品を取り外して、外したものは夫々の対象部品ルートで処理・処分或いは保管する等の事前選別のルール化、システム化が望まれる。

製造者側では、照明器具工業会のガイドに沿って、プラスチック部品の材質表示、梱包材のプラスチック材使用の抑制、代替が図られつつある。

東京都の事例では“照明器具”は一般廃棄物・粗大ごみとして取り扱われ、処理手数料として200円の有料化がされている。

4.2.1項及び4.2.2項で触れたように主要家電4製品である電気冷蔵庫、テレビ受像機、電気洗濯機、ユニット型エアコンディショナーが法律の対象とされたことと並行して(財)家電製品協会では平成6年11月に「廃家電品適正処理協力センター」を発足させ、廃家電品一貫処理リサイクルシステムの技術開発、ブラウン管ガラスのリサイクルシステム、フロン破壊処理の研究・開発を全国規模で対応を図りつつある。その到達するリサイクルシステムを図4.12に示すように掲げている^{25, 26)}

照明器具類も将来的にはこのようなシステムの中で処理処分が考えられる方向が望ましい。

4.5 材料の再利用及びリサイクル技術の現状

これまで記述したように蛍光ランプの材料構成の割合で90%以上を占めるのは外管のソーダ石灰ガラスで、ステム部の鉛ガラスや口金のアルミ、黄銅ピン、蛍光体等は数%のレベルである。従って再利用は、現状で外管ガラスのカレットとして再利用の取組が行われている。

希土類蛍光体を対象としたリサイクル技術も比較的早くから研究されている²⁷⁾。最近においても継続しての研究報告がなされている²⁸⁻³⁰⁾。高橋他の報告²⁸⁾によれば、硫酸侵出後シュウ酸塩沈殿法により高純度希土類酸化物が得られ、蛍光体からの各元素の回収率は90%であった。沈殿法のフローを図4.13として引用した。

これら技術を具体的リサイクルに結び付けるには経済的侵出条件を含めた技術開発が必要であると同時に、希土類蛍光体使用品種の選別すなわち未破碎においてランプを使用蛍光体別に分ける必要、破碎品でも先ず選別してから破碎するなど選別工程に制約を受けよう。現状は実用に至っていない。

現在提案又は稼働している蛍光灯のリサイクル技術は、「湿式法」と「乾式法」があり、代表的な湿式工程フローは前述の図4.10に、同じく乾式工程法を図4.14に示した²³⁾。両法の基本的な違いは、蛍光体の除去に“水”を用いるか否かである。湿式はわが国で、乾式は欧州で提案稼働されている。この違いは、ランプ製造技術にも由来する点や再利用者の意識の違いも多いと思える。

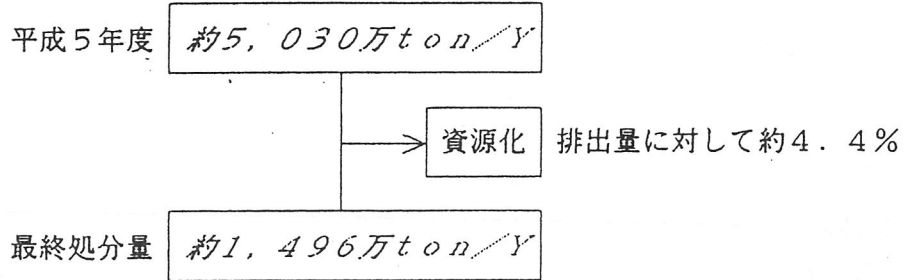
参考文献

- 1) 新井吉久:「平成5年度の一般廃棄物処理状況」No.120, pp2-6,1996-11, クリーンジャパン
- 2) 石井宏幸:「平成5年度の産業廃棄物の排出及び処理状況等について」No.120, pp7-11, 1996-11, クリーンジャパン
- 3) 「ランプ及び安定器・製品アセスメントマニュアル」ガイドー0051992-6, (社)日本電球工業会
- 4) 「照明器具・製品アセスメントマニュアル」,1992-3,1995-12(改), (社)日本照明器具工業会
- 5) 野原 論:「リサイクル政策の今後の課題」Vol.7, No.6, pp456-461, 1996 廃棄物学会誌
- 6) 多葉井孝信:「広島市における廃乾電池対策」, pp206-214, 1984, 廃乾電池対策のすべて, 地域交流センター発行
- 7) 太田寿美江:「蛍光管・廃乾電池回収における小松市の実験」, pp220-225, 1984, 廃乾電池対策のすべて, 地域交流センター発行
- 8) 白須賀公平:「含水銀廃棄物の処理・処分はどうするか」, 1996年3月, 長崎大学教育学部自然科学研究報告 第52号
- 9) 「ごみの出し方3つのマナー」, 1996年6月, 高知市市民環境部清掃対策室
- 10) 「高知市清掃事業概要(抜粋)平成8年度」, 高知市市民環境部清掃対策室清掃企画課
- 11) 「シュレッダー処理される自動車及び電気機械器具の事前選別ガイドライン」, 平成7年5月, 厚生省水道環境部廃棄物対策室
- 12) 「電球工業会報」, No.399, 1996年4月,(社)日本電球工業会
- 13) H.P.Stormberg:”Environmental Aspect of Discharge Lamps”, Proc. 7th International Symp. On the Science & Technology of Light Sources, pp327-335,1995,Kyoto Japan.
- 14) 特開昭 50-103416(東芝)
- 15) 特公昭 53-872(日立)

- 16) 特公平 3-5874(有田硝子)
- 17) "Test Report of Demonstration Plant For Recycling Mercury Containg Wastes", Aug. 1988, Clean Japan Center
- 18) 「蛍光灯」Sec.5, pp107-109, モノづくり解体新書 6 ノ巻 ex Mook241994-8, 日刊工業新聞社
- 19) 大島照雄:「蛍光灯のリサイクル」, pp480-482, エコマテリアル事典, 1996年12月 サイエンスフォーラム社
- 20) 稲野浩行:「廃蛍光管の有効利用」, 北海道立工業試験場ガラス工芸科, 1995年9月
- 21) 白井弘一:「蛍光管処理装置の開発」, Vol.9, No.12, pp61-63, 1994, いんだすと
- 22) 松浦和春:「発光管管体ガラスの回収装置」, 1995年10月, リサイクル技術研究発表会講演論文集(第3回), (財)クリーン・ジャパン・センター
- 23) MRT System 社 (Sweden) カタログ
- 24) EKOTEHO 社 (FINLAND) カタログ
- 25) 釜江誠一:「廃家電品のリサイクルについて」, Vol.4, No.4, pp295-303, 1993, 廃棄物学会誌
- 26) 「家電リサイクルプラントの基礎調査-報告書」, 平成7年3月, (財)家電製品協会
- 27) 松浦進:「テレビ・蛍光体からの Y, Eu などの回収」, No.65, pp70-72, 1978, 工業レアメタル
- 28) 高橋他:「廃蛍光管からの希土類元素の分離回収(第1報)」, No.293, 1994, 北海道立工業試験場報告
- 29) 東馬他:「蛍光体スクラップからの希土類再資源化」, N-3 資源・素材 95 秋季大会
- 30) 嶋影和宣他:「蛍光体用レア・アース酸化物の塩酸侵出機構」, Vol.65, No.13, pp953-958, 1996, 資源と素材

図表

☆一般廃棄物<主として家庭から排出されるもの/市町村が処理処分義務>



☆産業廃棄物<事業活動により排出されるもの/排出者が処理処分義務>

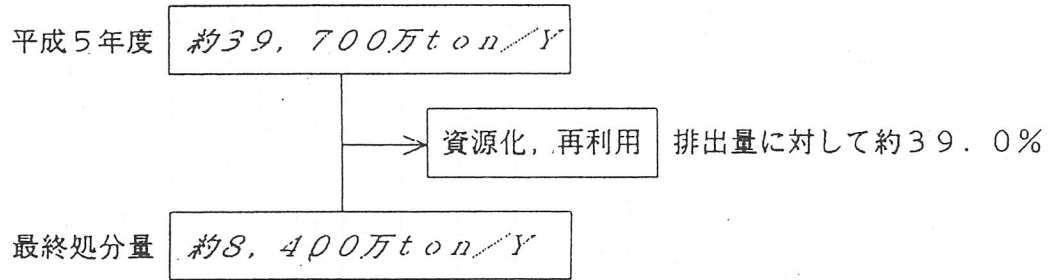


図 4.1: 廃棄物総排出量及び最終処分量^{1, 2)}

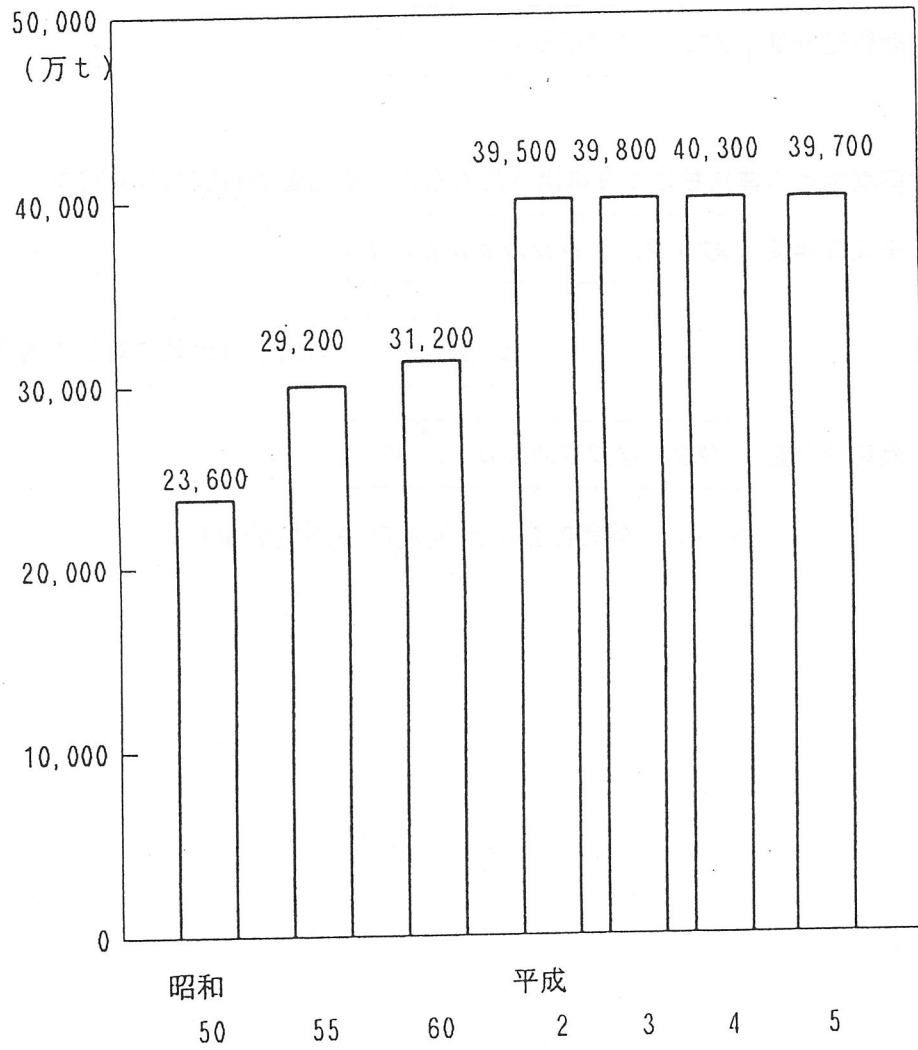


図 4.2: 産業廃棄物の総排出量の推移²⁾

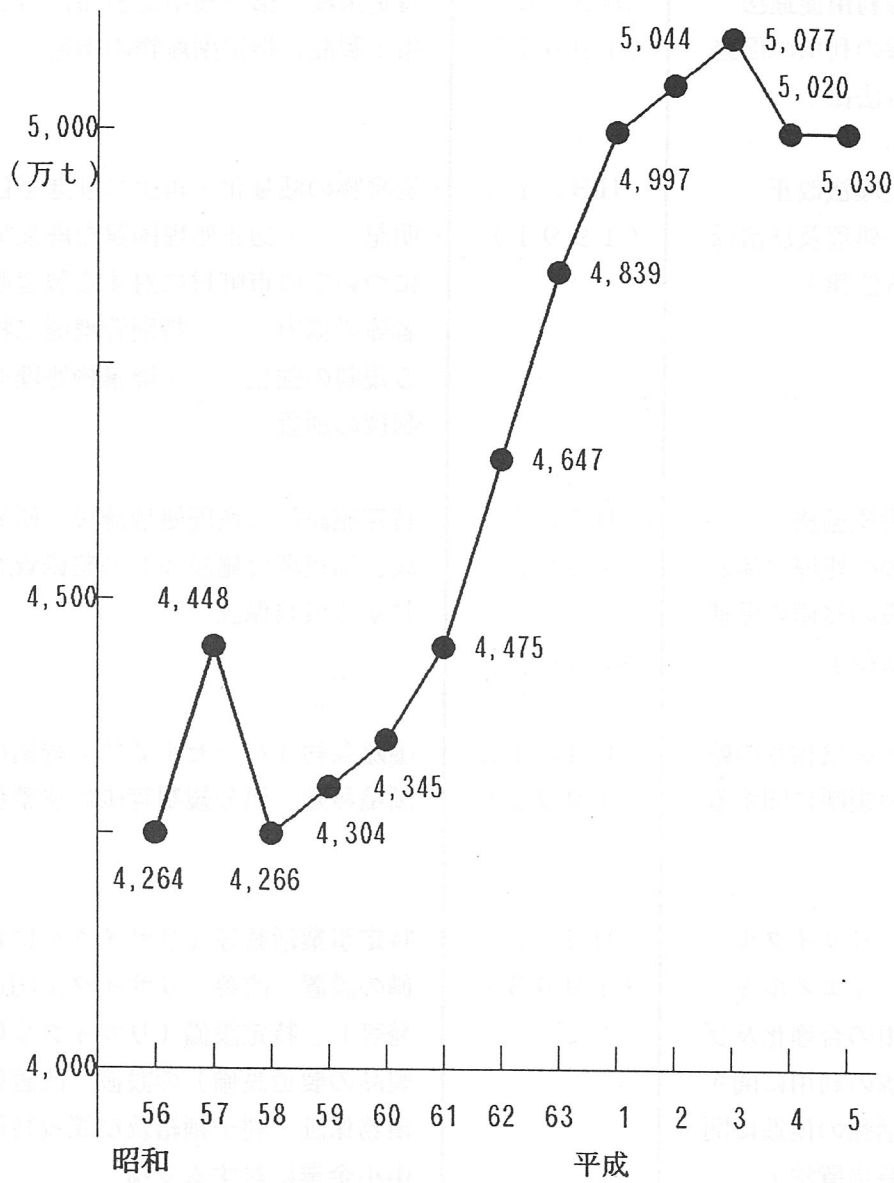


図 4.3: 一般廃棄物(ごみ)の年間総排出量の推移¹⁾

表 4.1: 廃棄物などに係る法律の動向

法 律	公 布	要 点
再生資源利用促進法 [再生資源の利用の促進 に関する法律]	H3. 4 (1991)	・ 特定業種, 第一種指定製品, 第二種 指定製品, 指定副産物の指定
廃棄物処理法改正 [廃棄物の処理及び清掃 に関する法律]	H3. 10 (1991)	・ 廃棄物の減量化・再生の推進を目的に 明記 ・ 適正処理困難な廃棄物の処理 についての市町村に対する製造販売事業 者等の協力 ・ 特別管理廃棄物に係わ る規制の強化 ・ 廃棄物処理センター 制度の創設
産廃施設整備法 [産業廃棄物の処理に係わ る特定施設の整備の促進 に関する法律]	H4. 5 (1992)	・ 特定施設等(産廃処理施設、研究開発施 設、周辺環境施設等)の整備資金融資に 対する債務保証
[特定有害廃棄物等の輸 出入等の規制に関する 法律]	H4. 12 (1992)	・ 国際条約(バーゼル条約)締結に関する 国境移動、処分規制等国内法整備
省エネ・リサイクル 支援法 [エネルギー 等の使用の合理化及び 再生資源の利用に関す る事業活動の促進に関 する臨時措置法]	H5. 6 (1993)	・ 特定事業活動等(リサイクルに資する設 備の設置・改善、リサイクル関連技術開 発等)、特定設備(リサイクルに資する 製品の製造設備)の設置・改善に関する 債務保証・利子補給及び課税特例 ・ 中小企業に対する支援
容器包装リサイクル法 [容器包装に係わる分別 収集及び再商品化の促 等に関する法律]	H7. 6 (1995)	・ 消費者: 分別排出/市町村: 分別収集 /特定事業者: 再商品化の役割分担 ・ 指定法人による再商品化義務代行

主務大臣は、再生資源の利用の総合的推進を図るための方針を策定・公表

基本方針

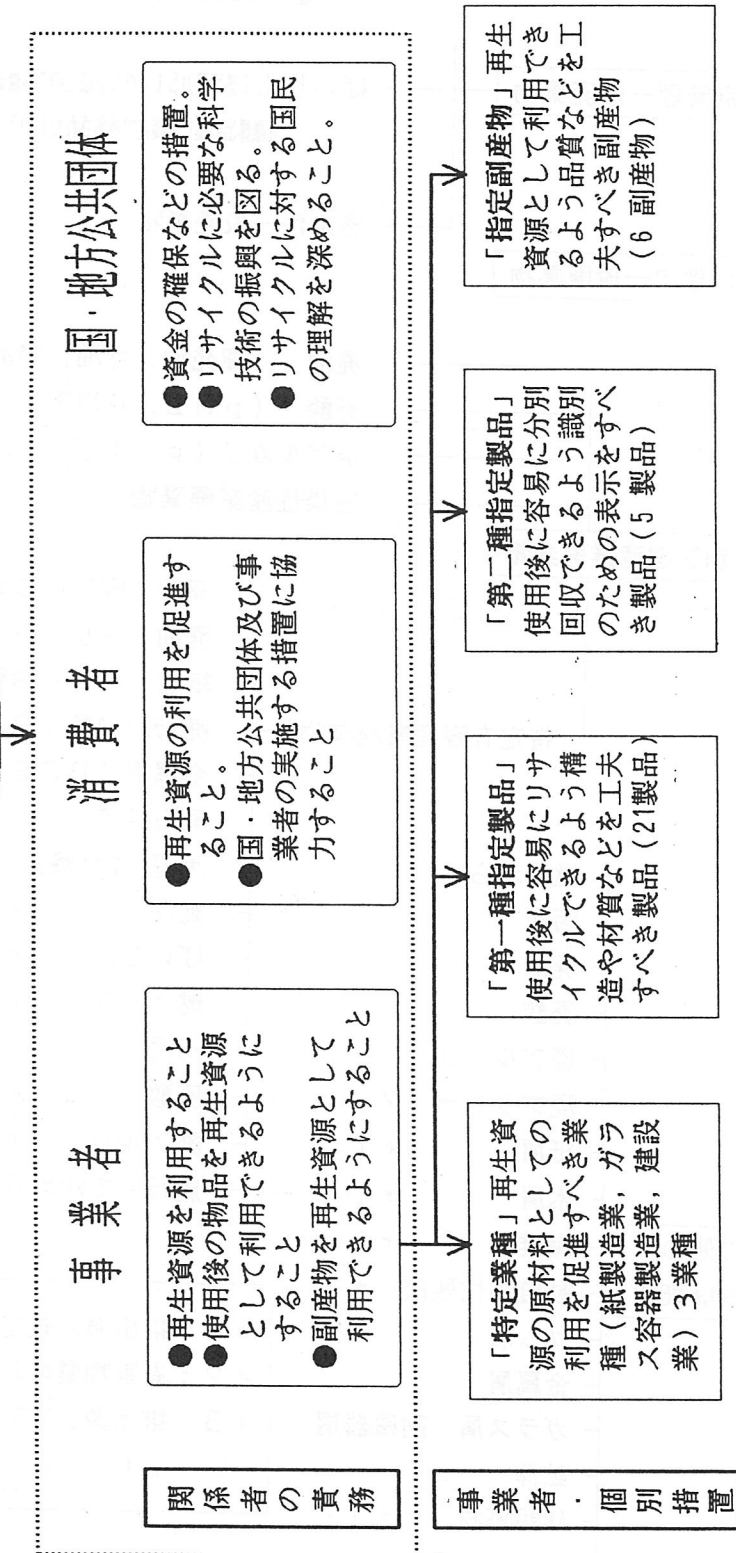


図 4.4: 再生資源の利用の促進に関する法律の概要

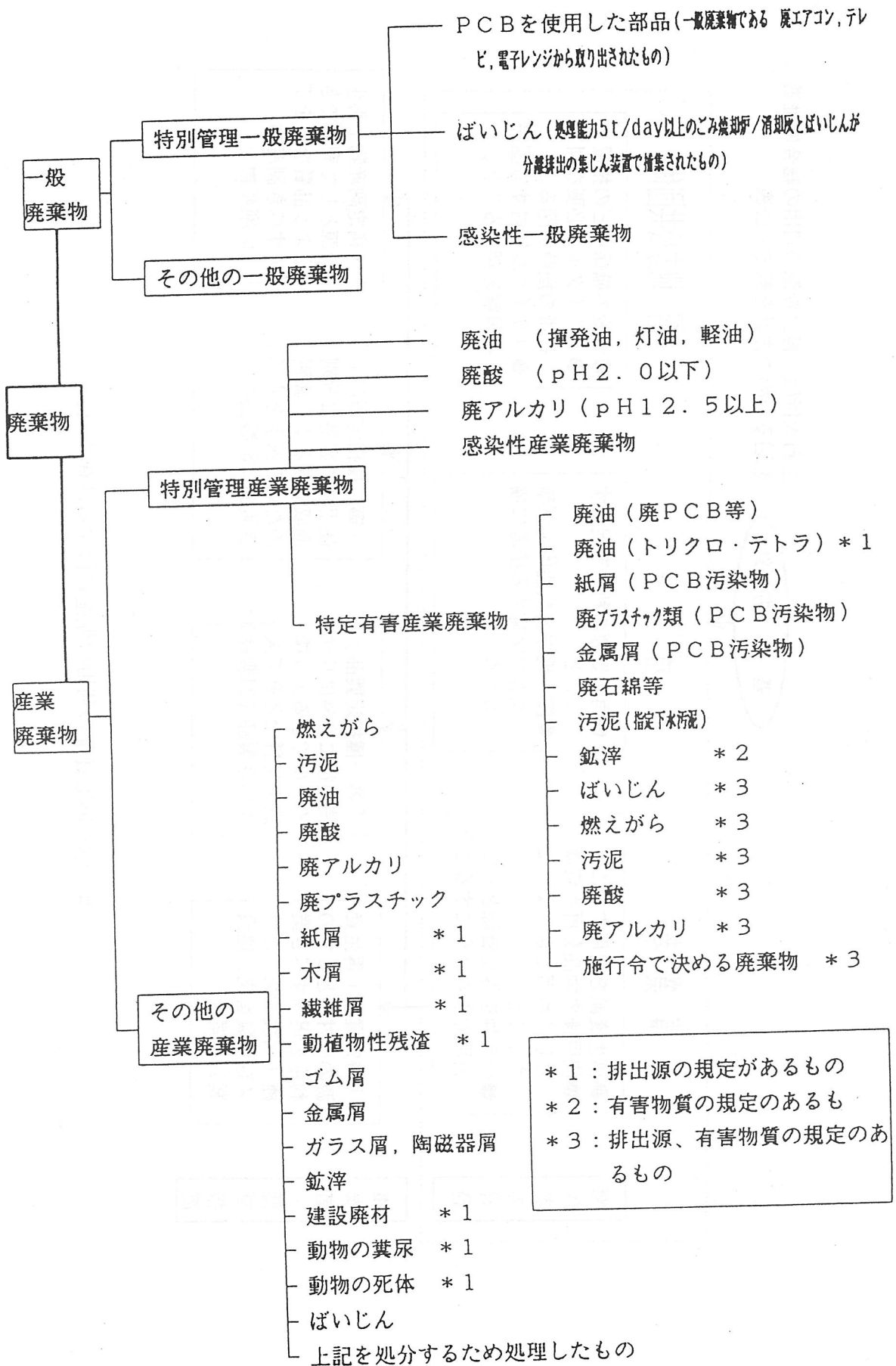
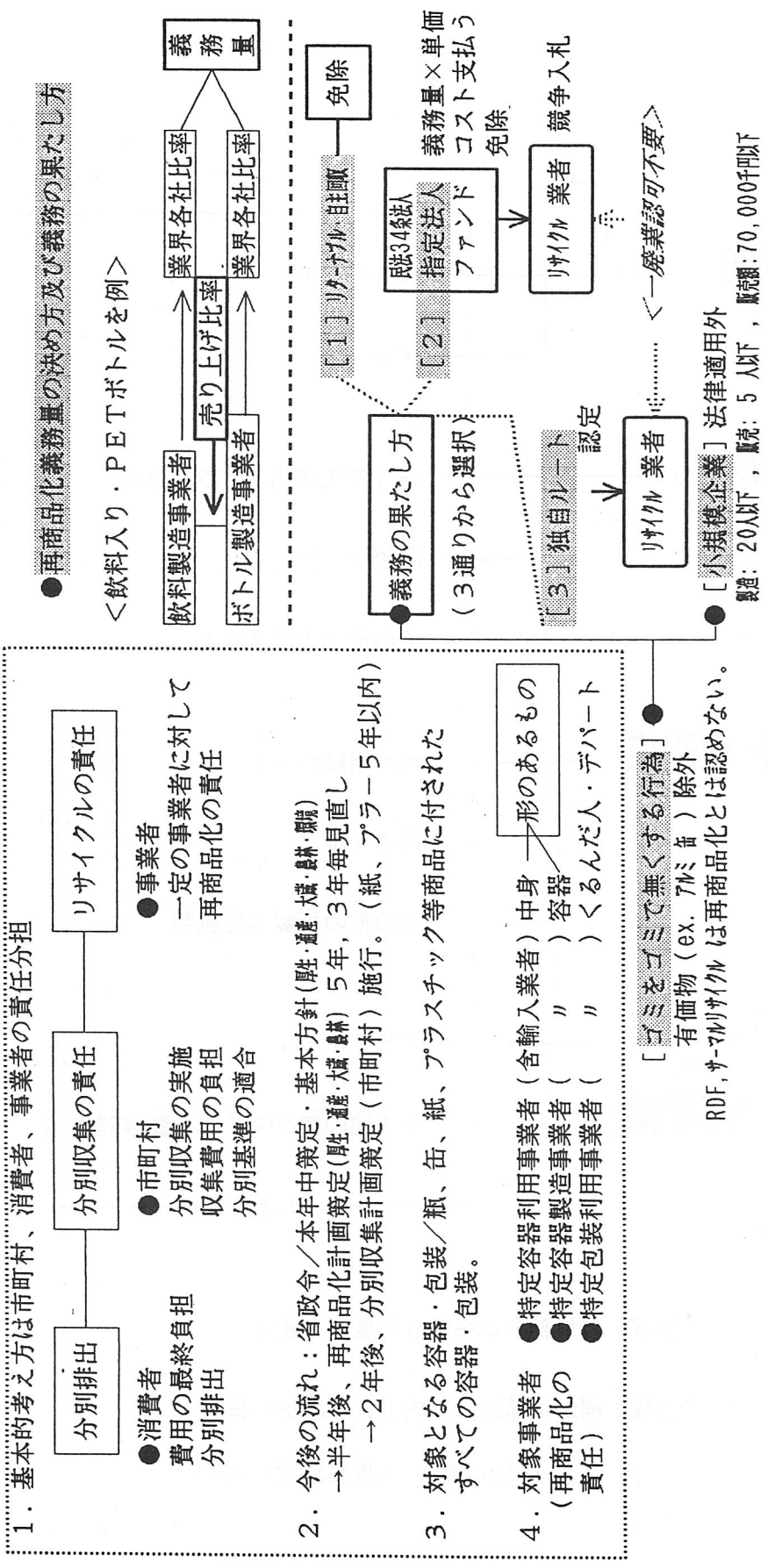
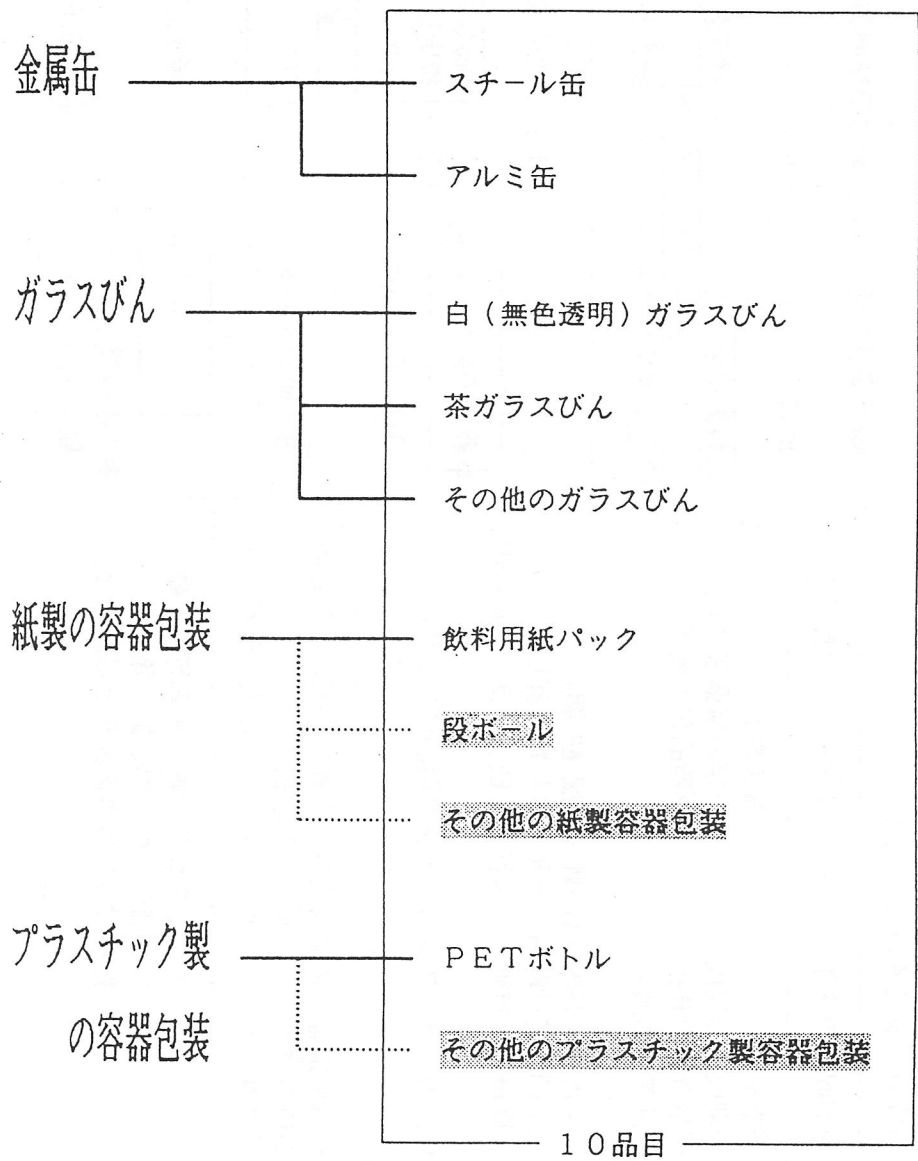


図 4.5: 廃棄物の処理及び清掃に関する法律における廃棄物の分類



1. 基本的考え方は市町村、消費者、事業者、事業者の責任分担
- 分別排出
 - 消費者 費用の最終負担 分別排出
 - 分別収集の責任
 - 市町村 分別収集の実施 収集費用の負担 分別基準の適合
 - リサイクルの責任
 - 事業者 一定の事業者に対して 再商品化の責任
2. 今後の流れ: 省政令/本年中策定・基本方針(駐・産・機・産・職) → 半年後、再商品化計画策定(駐・産・機・産) 5年, 3年毎見直し → 2年後、分別収集計画策定(市町村) 施行。(紙、プラ-5年以内)
3. 対象となる容器・包装/瓶、缶、紙、プラスチック等商品に付されたすべての容器・包装。
4. 対象事業者 (再商品化の責任)
- 特定容器利用事業者 (含輸入業者) 中身 形のあるもの
 - 特定容器製造事業者 (") 容器
 - 特定包装利用事業者 (") くるんだ人・デパート
- [ゴミをゴミで無くする行為] ● 有価物 (ex. FM音) 除外 RDF, サーマルサイクル は再商品化とは認めない。

図 4.6: 容器包装に係る分別回収及び再商品化の促進等に関する法律の概要



実線・無地部分は平成9年度から施行

点線・網かけ部分は平成12年度から施行

図 4.7: 分別収集・再商品化対象品目

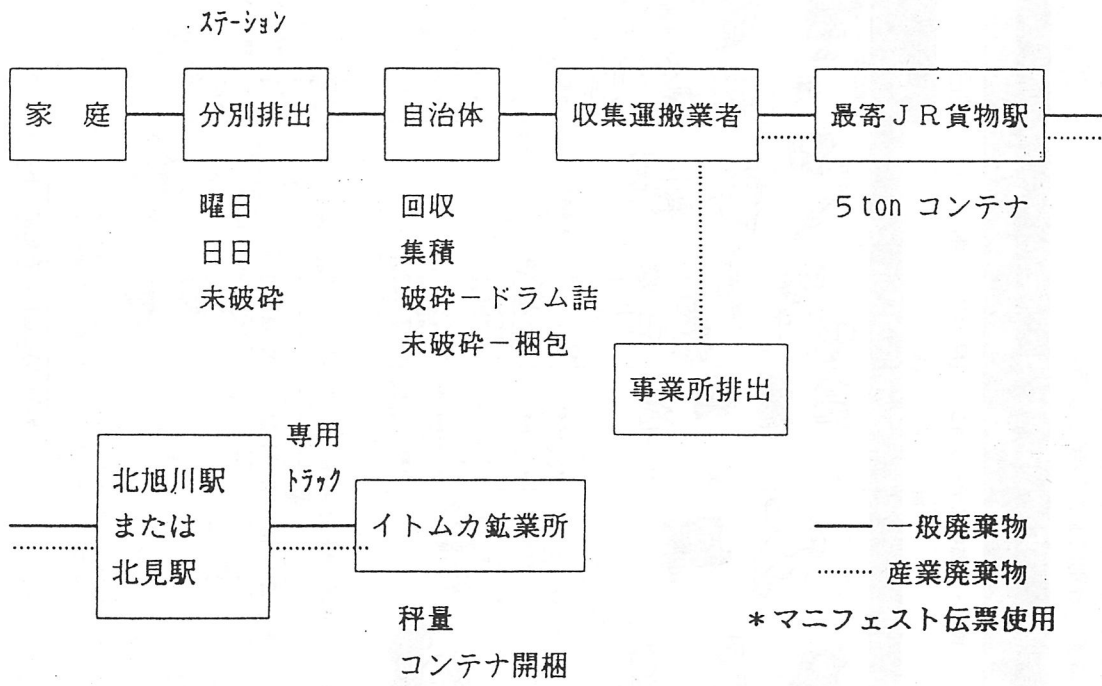


図 4.8: 使用済み蛍光ランプ回収事例

表 4.2: 代表的蛍光ランプの材料構成例

		直管形		環形
		FLR40S	FL40SS	FCL30
各種構成物の重量	ガラス管 gr	235	185	135
	蛍光体 gr	5	5	6
	電極 gr	7	7	6
	水銀 mg	10 ~20	10 ~20	10~30
	口金 gr	3	3	9
ランプ1個の重量 gr		255	205	155
標準寸法	管径 mm	32.5	27	29
	長さ mm	1198	1198	226 (環外径)

表 4.3: 蛍光ランプ用発光管ガラスの組成例

	重量%
SiO ₂	69.3 ~ 72.2
Na ₂ O	16.3 ~ 17.9
K ₂ O	
MgO	8.0 ~ 9.1
CaO	
Al ₂ O ₃	1.6 ~ 2.3
B ₂ O ₃	0.0 ~ 1.3

表 4.4: Environmental aspect of fluorescent lamp compared to those of an incandescent lamp ¹³⁾

Material (ng/lm-hr)	Fluorescent 36W			Incandescent 60W		
	lamp	energy	total	lamp	energy	total
Hg	0.33	0.64	0.97	0	4.45	4.45
Pb	0.	19.	19.	730.	136.	866.
Cu	1326.	26	1352.	891.	185.	1076.
NOx	119.	21,700.	21,800.	100.	152,000	153,000
SO2	0	16,300	16,300	0.	114,000	114,000

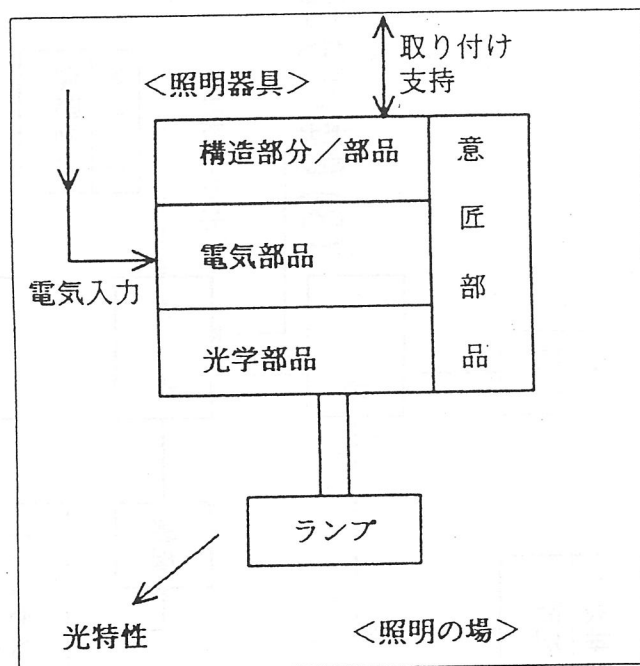


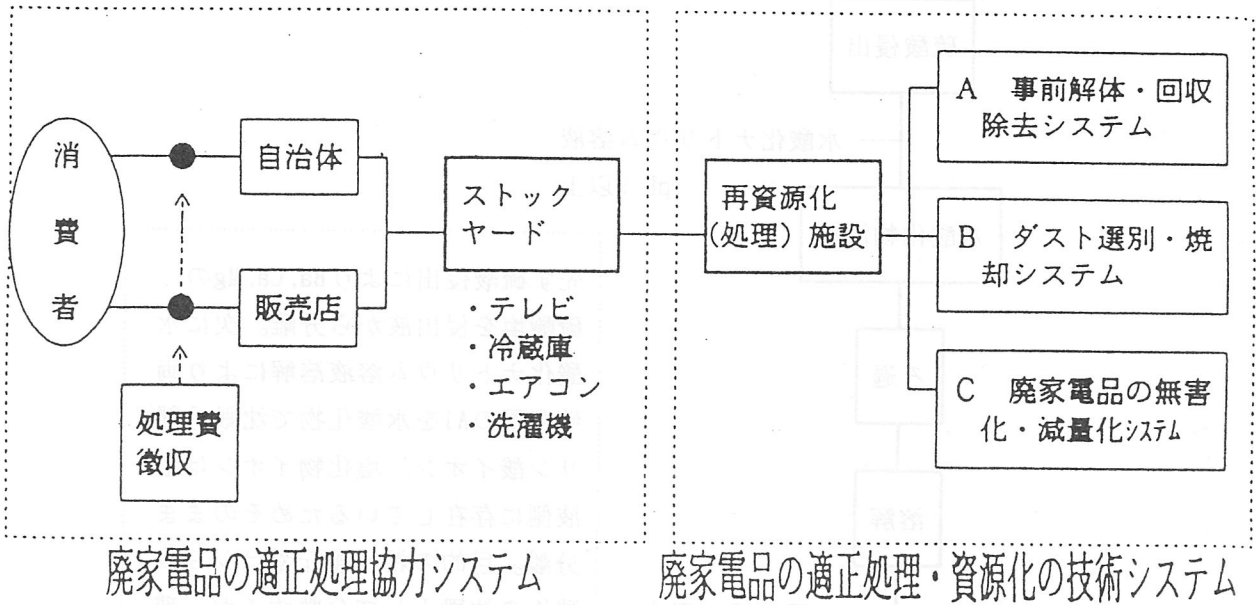
図 4.11: 照明器具の概念図

表 4.5: Mercury released into environment for different lamp in the United States and Europe ¹³⁾

Lamp type (USA)	Hg-dose (mg/lamp)	LO (lm-rated)	Life-time (hrs)	Hg (ng/lm-hr)		
				lamp	energy	total
Fluorescent 32W	30	2850	20000	0.53	0.59	1.12
CFL 18W	9	900	10000	0.75	0.95	1.70
Mercury vapour 400W	75	17500	24000	0.18	1.42	1.60
Metal Halide 400W	59	40000	20000	0.07	0.62	0.69
HPS 400W	23	50000	24000	0.02	0.51	0.53
Incandescent 60W	0	870	1000	0	3.75	3.75
Lamp type (Europe)						
Fluorescent 36W	15	3350	13000	0.33	0.64	0.97
CFL 18W	5	900	10000	0.56	1.09	1.65
Mercury vapour 400W	77	20000	15000	0.26	1.23	1.49
Metal Halide 400W	40	32000	20000	0.06	0.77	0.83
HPS 400W	20	55000	24000	0.02	0.45	0.47
Incandescent 60W	0	730	1000	0	4.45	4.45

表 4.6: 照明器具構成材料の重量比

材 料	重量比 (%)
鉄 (鋼板)	30.6
非鉄金属 (銅、アルミ)	6.6
プラスチック	8.1
安定器	23.6
ランプ	7.0
木・紙	1.5
ガラス	1.5
梱包材	20.7
その他	0.4
合計	100.0



廃家電品の適正処理協力システム

廃家電品の適正処理・資源化の技術システム

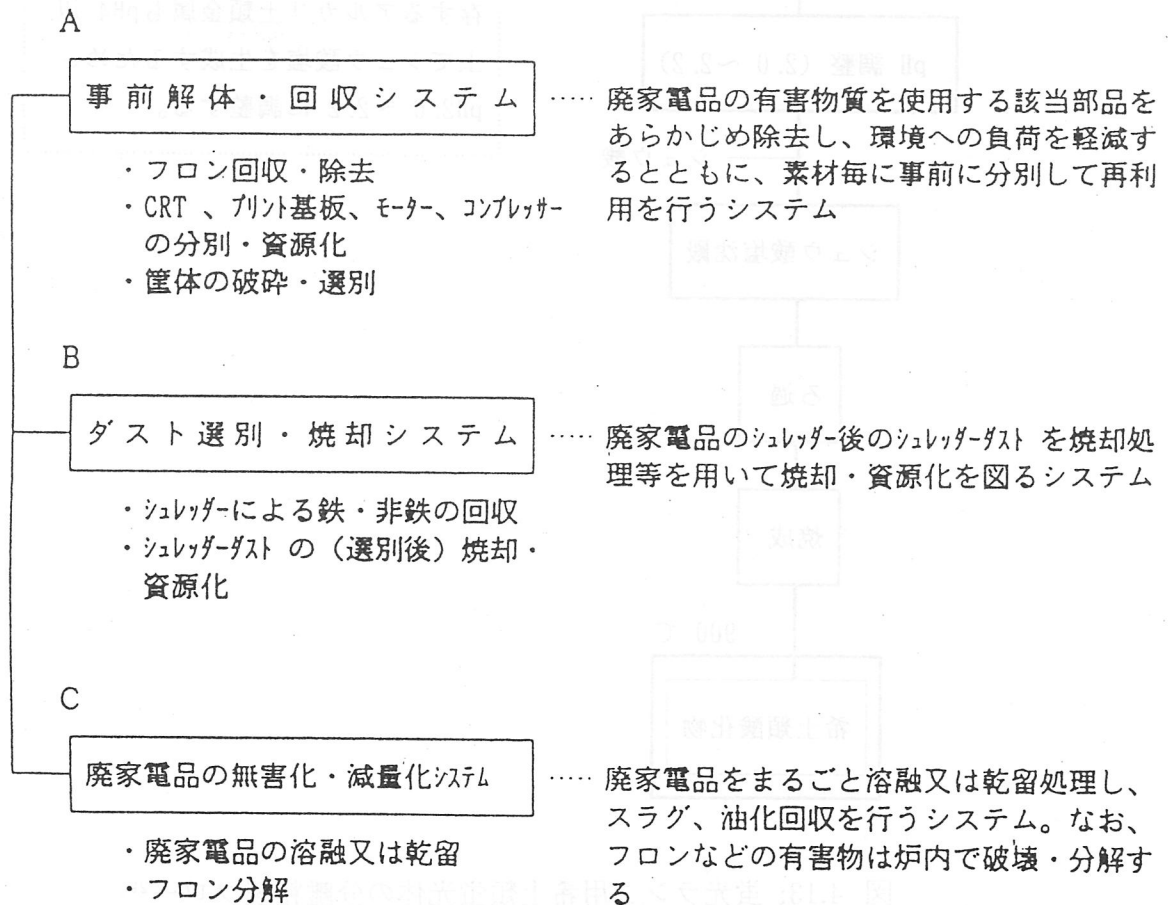


図 4.12: あるべき姿—廃家電適正処理・リサイクル

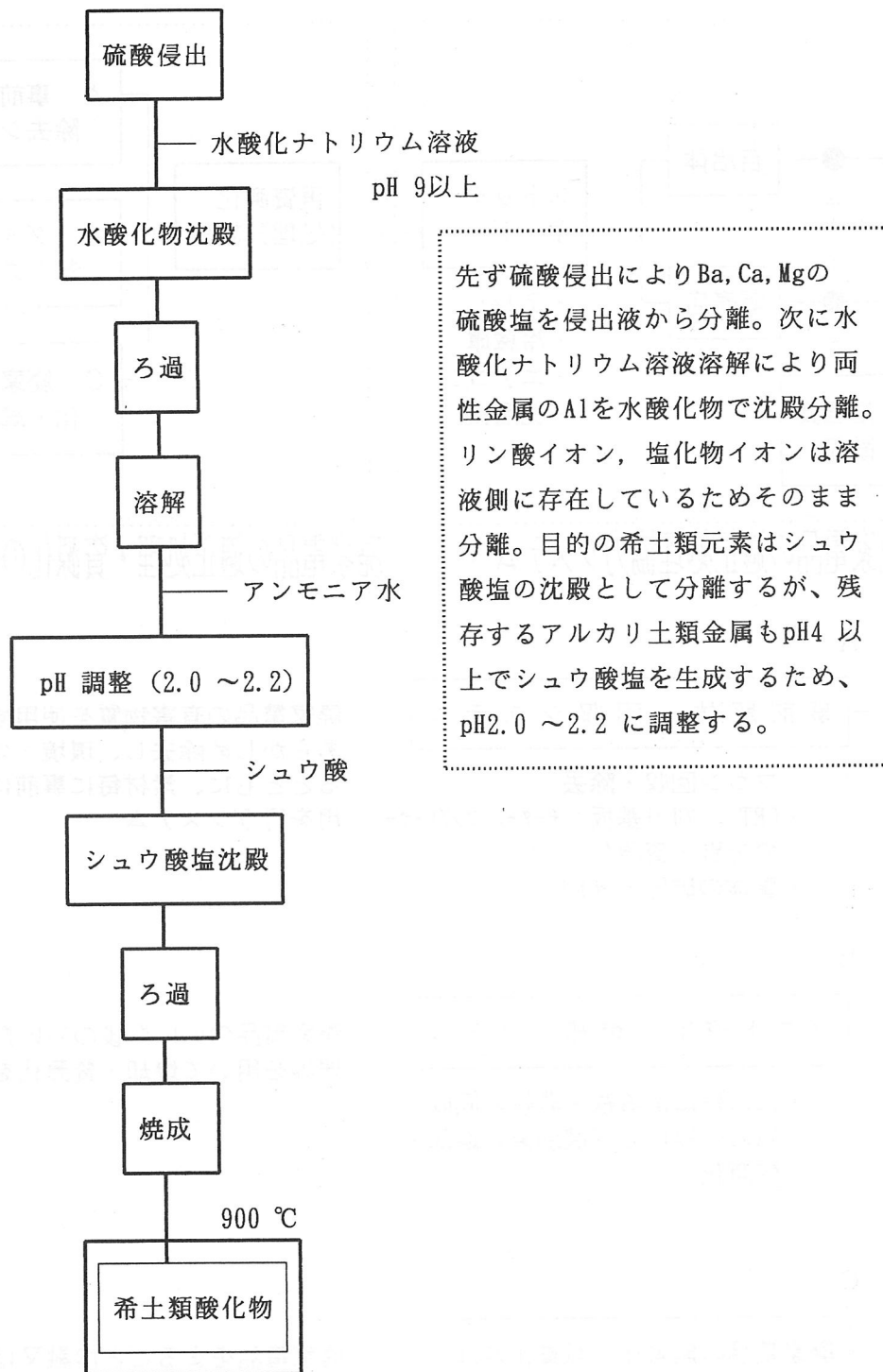
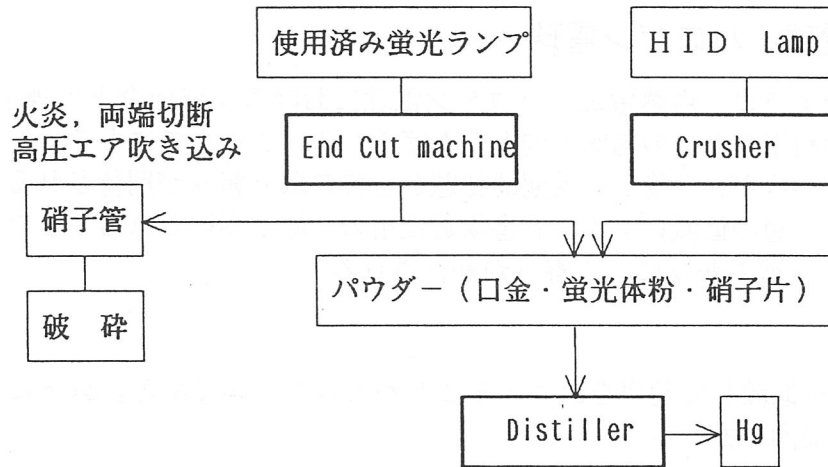


図 4.13: 蛍光ランプ用希土類蛍光体の分離精製フロー²⁸⁾

(a) 少量処理の場合



(b) 多量処理の場合

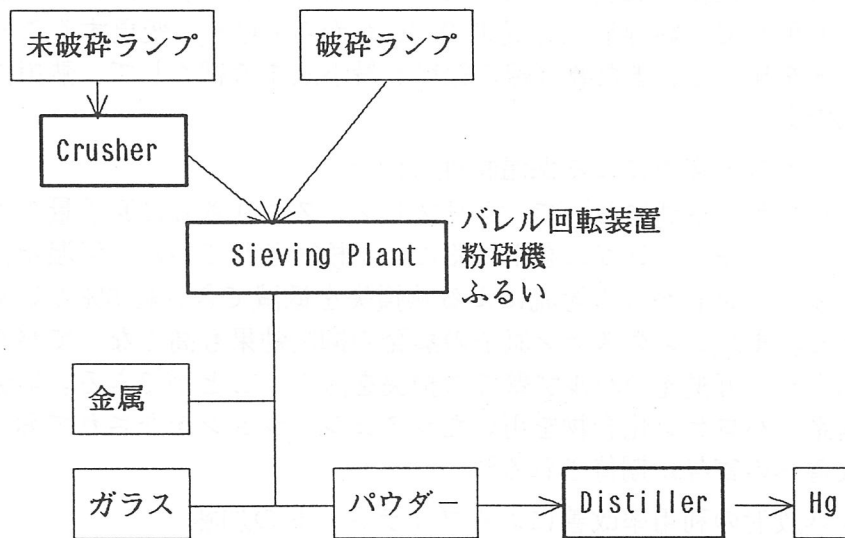


図 4.14: MRT 社 (Sweden) の処理・再資源フロー²³⁾

第 5 章 環境保全のための照明システムの動向

5.1 光源の技術開発動向

5.1.1 白熱電球・ハロゲン電球

3.1.2 節で見たように、白熱電球・ハロゲン電球における環境保全上の課題としては、まずエネルギー有効利用のための効率の向上があげられる。これまでもその努力が継続的に進められてきているが、今後とも長期的課題としての取り組みが期待される。短期的にははんだ使用量の一層の低減による、有害物質使用の削減が期待される。また省資源の点からはクリプトン電球の普及による寄与が期待される。

1) 省エネルギー

熱的損失を低減して効率を改善することが大きな課題である。以下に効率向上に関する技術動向をあげる。

(a) フィラメントの継線形状の変更による熱損失の低減

一般照明用電球においても、 16lm/W から 16.9lm/W へと5~6%の効率向上が得られた例が報告されている¹⁾。これはノンサグ W ワイヤをフィラメントに使用して、継線形状を従来の CC-6 から CC-8 に変更することにより、アンカーを無くし、また導入線の線径も最小限まで細くして、熱損失を減らした結果である。

(b) 封入ガスの変更による保温特性の向上

ハロゲン電球において、クリプトンガスよりさらに原子量の大きく熱伝導率の小さいキセノンガスを用いることが検討されている。保温特性の向上によりフィラメントからの対流による熱損失を低減でき、約5%の効率向上が期待できる。またタングステン原子の蒸発の抑制効果も高くなってバルブ黒化防止が向上し、可視光のバルブ壁での損失を減らすことができる。塩素系、および臭素系のハロゲン化合物を用いたシミュレーションがなされており、今後の効率改善への寄与が期待される²⁾。

(c) 赤外放射の利用率改善によるフィラメントの加熱

一般照明用ハロゲン電球においてフィラメントからの赤外放射を、バルブ外壁面に設けた赤外反射膜により再びフィラメントに戻して再利用し、消費電力を低減し、効率を向上させる研究が進められている。赤外反射の多層干渉膜に関しては、その光学特性を向上させるために、多層化や、高屈折率層の屈折率の向上により、赤外反射率および可視光の透過率を高くする必要がある。またバルブやフィラメントの形状を、反射された赤外放射がフィラメントに戻る率が高くなるようにする必要がある。

多層化に関しては、膜のクラック、剥離の防止が必要である。多用されている Dip 法による膜形成においては、 SiO_2 層への P の添加により、熱応力を低減し多層化が可能になったが、10 数層が限度であった。これは SiO_2 層の真性応力を低減した溶液の開発により改善され、33、および 47 層の例が報告されている³⁾。また TiO_2 膜の原料液の改善により SiO_2 層との密着性の改善がされた⁴⁾。 TiO_2 層を SiO_2 層より厚くすることによる応力緩和により 18 層の膜形成が可能となり赤外反射膜を付けない場合に比べて 18 層で 34%の効率の向上(従来 25%)が得られた⁵⁾。さらに高屈折率層と低屈折率層の間に中間屈折率層($\text{TiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$)を設けて 71 層の膜を形成して 700~2000nm の波長域での反射特性を向上させる⁶⁾(球形バルブにて 44.6%の効率向上)など Dip 法による膜の特性改善が進んでいる。

さらにまた高屈折率層の一層の屈折率の向上については TiO_2 層に Ge を添加することなどがあげられる。Ge の添加により高温での TiO_2 の結晶化による白濁を抑制して、これによって 90%の透過率を得つつ高い屈折率が得られるようになった^{12, 6, 7)}。

また Dip 法において高屈折率層を $\text{TiO}_2+\text{Ta}_2\text{O}_5$ の構成とすることにより厚さ $8\mu\text{m}$ の多層膜を形成した事例が報告されている⁸⁾。また $\text{TiO}_2:\text{Ta}_2\text{O}_5=1:1$ の場合に光学的に安定で耐熱性のある高屈折率層が形成できることが報告されている⁹⁾。

フィラメントの加熱に赤外線を有効に利用する上で赤外線反射膜の光学特性に並んで重要なのが反射された赤外放射のフィラメントへの帰還率である。比較的短いフィラメントへの赤外放射の帰還率を高めるために回転楕円体、あるいは球形のバルブを採用し形状係数を大きくすることが必要となる¹⁰⁻¹²⁾。このような形状のバルブへの多層干渉膜の形成技術に関する研究もなされている¹³⁾。赤外反射膜を回転楕円体形状のバルブに形成して、 26lm/W の効率を達成した例($\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ 、46 層、寿命 1000h)が報告されている^{14, 15)}。しかしこのようなバルブをもつ電球でのフィラメントには、局所的な高温部分(ホットスポット)が形成され易く、フィラメントの溶断による寿命の短縮の恐れがあることから、その影響を避ける技術の開発が進められている¹⁶⁻²¹⁾。

赤外反射膜の応用による効率改善に関しては理想的な赤外反射膜をもつ球形バルブで、2重コイル(2800K)の場合の検討結果から 36lm/W が可能との報告もされている²²⁾。今後の開発の進展を期待したい。

(d) フィラメント材質の変更による放射特性の改善

点灯時のフィラメント温度をより高くすることにより、可視光放射の増加が期待される。現在用いられているタングステンより融点の高い素材として HfC、TaC などがある。TaC は効率と分布温度は優れているが寿命や機械的強度などに課題が多い²³⁾。また炭素フィラメントを用いたランプについても研究され、その熱力学的検討から、C- H_2 -Xe 系での炭素輸送サイクルにおけるバルブの黒化防止の可能性が報告されている²⁴⁾。

(e) 超高効率化-白熱発光体表面へのサブミクロン孔の形成による放射特性の改善

Waymouth は効率が 60~80lm/W、寿命が 10,000h の理想的な放射体の可能性を指摘した。これは、白熱発光体の表面にサブミクロン孔 (図 5.1) を形成して赤外域の放射を減らし、可視域の放射を増加させて効率を大幅に改善するというものである (図 5.2)^{25, 26)}。ランプにおける伝導、対流による熱損失を考慮すると、従来の 100W 電球と同じ明るさが、60W から 30W で得られることが期待される²⁷⁾。

Waymouth の予想について赤外域での放射率、反射率、カットオフ特性などに関する検証が進められている。

タングステン表面に直径 200~400nm、深さ 2~4 μ m の孔を形成した例では赤外放射量が平滑面の約 1/2 に減少した²⁷⁻²⁹⁾ が、完全な赤外放射の抑制効果は得られていない。これは孔の開口部付近からの赤外放射が無視できないことも考えられる²⁸⁾ など基本的な要因を含んでいる。また 1400K でも放射体表面の微細構造に変化が見られた。他の実験ではカットオフ波長は予想通りであったが放射率は平滑面と差がなかったとの報告もある³⁰⁾。

まだ Waymouth の予測通りの結果が得られていないが、検証は始まったところであり、今後の成果が期待される。

2) 有害物質の削減

白熱電球、およびハロゲン電球に使用される物質のうち、使用済みのランプとともに環境に排出され、溶出する可能性がある有害物質として、はんだの鉛があげられる。使用量は少なく環境への影響は無視されると考えられるが、今後さらに使用量削減の努力が求められると推測される。

一般照明用電球およびクリプトン電球においてシェルと外部導入線の接続における溶接の採用が一層進めば、はんだの使用量の削減がさらに進むものと期待できる。

3) 省資源

省資源の観点からは近年のクリプトン電球の普及があげられる。1995年(平成7年)におけるクリプトン電球の生産数は1,700万個で一般照明用電球の11%にあたり、また前年比約10%の増加であった。クリプトン電球は従来から用いられてきた一般照明用電球に比べて、ガラス球の外径で25%~35%、全長で約30%小形化された。口金もE26からE17へと小形化された。この結果、ランプ重量は50%以上低減でき、省資源に役立っている。また小形化にともない包装材料も、従来ランプ1個あたり約7gの紙が使われていたのが薄いプラスチックシートの使用に変わり、包装材料の使用量の削減に役立っている。またクリプトンガスがアルゴンガスよりフィラメントからのタングステン原子の蒸発の抑制効果が高いことを生かして、2000hへの長寿命化(従来は1000h)を可能にした。すなわちランプ重量の低減効果と合わせて資源の使用量はほぼ1/4になった。電球の小形化によって照明器具も小形となり、この面でも省資源の波及効果が得られる。また長寿命化により保守、交換の負荷が半減することとなる。

クリプトン電球の普及は省資源、社会的コスト低減に寄与すると期待される。

5.1.2 蛍光ランプ

蛍光ランプは希土類蛍光体の開発により高効率で高演色の光源として、一般照明分野における主力商品としての地位を築き上げたばかりでなく、ガラス加工技術及び水銀アマルガムなどの各種ランプ用部材開発に支えられ電球形蛍光灯やコンパクト形蛍光ランプといった新しい省エネ光源の分野を拓いてきた。さらに、近年では点灯回路の電子化技術の進歩により、照明システムとしての完成度を高めつつある。

ここでは、最近の技術開発動向として水銀減量化への取り組みについて述べるとともに、新しい照明システムを提案する高周波点灯専用蛍光ランプ(細管化の技術動向を含む)と無電極蛍光ランプについて概説する。

1) 水銀減量化

蛍光ランプにおける水銀の存在は本質的なものでこれを全く無くすることは出来ないが、使用済み後の廃棄を考慮して封入量は必要最小量にする必要がある。点灯時の必要水銀量はランプ中に存在する $0.7\sim 1.3\text{Pa}$ ($5\sim 10\times 10^{-3}\text{Torr}$) の蒸気圧のみで、ランプの容積によるがおおよそ $0.02\sim 0.06\text{mg}$ 程度になる。しかし、実際には長時間の点灯中にランプ内にある蛍光体や不純物等と化学反応を起こし有効水銀量は消耗されて行く。その程度はランプ容積の外に使用蛍光体の種類、ランプの製造状態、ランプの設計(単位管壁面積当たりの負荷)などにより一定しないが、おおよそ 40W 形で $2\sim 8\text{mg}$ と言われている。しかしながら、このような極微量の水銀を確実に直接ランプ内に封入することは製造技術上非常に難しく、蛍光ランプの普及当初は $50\sim 60\text{mg/本}$ であったが、最近の製品では 20mg を下回るレベルまで減量化されている。

更なる減量化の新技术としてカプセル方式、ゲッター方式が開発、実用化されつつあり、一部の品種では 10mg 以下にコントロールされている。最近、オランダのフィリップス社が水銀封入量 3mg という蛍光ランプを発表した³¹⁾。

蛍光ランプそのものでの今後の大幅な水銀減量は期待できないが、ランプ寿命、発電に伴う化石燃料からの水銀放出を総合すると、 36W の蛍光ランプでは $0.97\text{ng}/\text{lm}\cdot\text{h}$ であるのに対し、 60W の白熱電球では $4.45\text{ng}/\text{lm}\cdot\text{h}$ となり、蛍光ランプの方が水銀放出に対しては有利であるという報告もある³²⁾。

2) 高周波点灯専用蛍光ランプ (Hf タイプ)

蛍光ランプの高周波点灯の研究は、1950年代にバスなどの車載用に始められ、1970年代から一般照明用蛍光ランプについても始められた。蛍光ランプを高周波で点灯させる場合の利点として、

- 1) ランプの発光効率の向上 (40W を 20kHz で点灯の場合で約 10% ³³⁾)
- 2) 点灯回路(安定器)の小形・軽量化・電力損の低減化
- 3) チラツキの減少
- 4) 調光の容易化

等があげられる。しかし、従来の蛍光ランプを高周波電源で点灯させたのでは十分な効率の改善が期待できない。Hf 蛍光ランプは、蛍光ランプの能力を最高限度に引

き出すために専用の点灯回路を用いるため、従来の照明器具との互換性がなくなっている。現在得られている 100lm/W の発光効率は環境保全・省エネルギーの観点からは十分に評価できる。外観的に管径が 25mm となりスリムになっているのが特徴である。特性の一例を表 5.1 に掲げる。又、回路定数の一部を変更することにより同一ランプで高出力点灯が容易に行える。直管形以外の品種構成では、6本管形の高周波専用コンパクト形が商品化されている。又、環形では直径 20mm の発光管や2本の丸形発光管を同心円上につないだ高周波専用二重環形ランプが発表されるなど、今後の点灯回路の主力は高周波に移行する可能性が非常に大きい。

3) 細管化

現行製品の改良、新規製品の開発努力は絶えず続けられているが、従来の改善条件には、既存のランプとの互換性があること、即ち既設の照明器具で使用出来ることが前提となっていた。このことはランプの普及には大変有利であるが、反面、開発の制約ともなっていた。一般に蛍光ランプの発光輝度は管径が細くなるほど高くなることが知られているが、管径が細くなると始動電圧が高くなり、ランプ電流等も変化し従来の照明器具(安定器)では使用出来なくなる。しかしながら、今後は専用の回路と共に新規に設計したものが開発されて行くであろう。現在、公称管径 16mm のものが商品化されて(図 5.3)、さらに 7mm のものの開発が精力的に進められており、IEC(国際電気標準会議)にも規格の提案がなされている。その特性の一例を表 5.2 に示す³⁴⁾。単位面積当たりの管壁負荷の増大による水銀蒸気圧のコントロール、寿命末期の電極過熱現象など解決すべき点もある。

4) 無電極蛍光ランプ

無電極蛍光ランプは文字通り放電路に電極の無いランプで、外部から希ガス原子に直接エネルギーを与えて発光させるものである。この場合、エネルギーの与え方、エネルギー変換の方法によって放電のタイプとして大きく三つに分類されている³⁵⁾。

- 1) 静電結合放電(E放電)
- 2) 電磁誘導結合放電(H放電)
- 3) 表面波放電

希ガス中の無電極放電現象の発見及び研究は古いが、照明用として実用化の域に達したのは比較的最近である。このランプの最大の特徴は長寿命(電極が無いため電極の消耗が無い)と高効率(電極損失が無い)であるが、後者については現状では回路の変換効率の低さにより十分な特性が発揮出来ていない。又、回路からの電波ノイズの発生も多く、解決も必要であり、今後の無電極ランプの発展は回路部品も含めた回路技術の進歩にかかっている。しかしながら今後の展望は明るく 21 世紀は無電極ランプの時代になるとの見方も出ている^{35, 36)}。

5) その他

蛍光ランプの優れた光学特性の一つは発光効率 (lm/W) であるが、これは演色性と相反する関係にあるため単純には論ぜられないが、現状実用化の最高レベルは 100lm/W である。理論値としては、近白色蛍光ランプでは 280lm/W 、高演色蛍光

ランプでは 220lm/W が予想されており³⁷⁾、近い将来、この値に一層近づくことが期待される。

5.1.3 HID ランプ

HID ランプの一般的な技術開発の動向は、高効率化、高演色化、動程特性の改善が主流であり、近年はさらに小型化、低ワット化の研究開発が盛んである。

1) 高圧水銀ランプ

高圧水銀ランプは 1906 年に発明され、外管が透明な高圧水銀ランプは 1933 年に、外管内面に蛍光体を塗布した蛍光高圧水銀ランプは 1950 年に開発された。近年、メタルハライドランプや高圧ナトリウムランプの使用量が増加しているが、HID ランプの主流はまだ高圧水銀ランプである。しかし、技術的な改善は、1970 年代にはまだ行われていたが、1980 年代になると報告件数は少なくなり、技術的にもほぼ飽和したと思われる。

(a) 効率の改善・色特性の改善

水銀の発光スペクトルは可視領域に 4 本の強いスペクトル (405、436、5467、577~579nm) を持っているが、青緑と赤の発光が不足している。そこで蛍光体を外管内面に塗布し演色性を改善した蛍光高圧水銀ランプが開発された。蛍光体が塗布されていない高圧水銀ランプでは、効率が約 50lm/W 、平均演色評価数 R_a は 20 以下³⁸⁾であるが、赤色発光の蛍光体を用いることにより、効率が約 60lm/W 、 R_a が約 40³⁹⁾、さらに青緑色発光の蛍光体を用いることにより、効率が 60lm/W 以上に、平均演色評価数は約 50⁴⁰⁾ に改善された。青緑色発光の蛍光体を用いることは、演色性を高めるだけでなく効率の改善にも役立っている。

蛍光体を用いることによる効率向上で現在までに報告されている最高データは、1000W タイプにおいては 70lm/W ⁴¹⁾ が、400W タイプにおいては 68lm/W ⁴²⁾ である。また、オイルショック時には、6~8%の省エネ効果(光束が同じ)のある省電力形高圧水銀ランプ⁴³⁾ も開発された。

色温度に関しては、蛍光体を用いることにより 3300K の低色温度(蛍光体を用いないランプは 5800K、通常の蛍光体を用いた通常のランプは約 4000K)のランプが開発されている⁴⁴⁾。

(b) 寿命(動程特性)の改善

電極に塗布するエミッターに関して、以前は ThO_2 と Ba、Ca、Sr などの酸化物を混合したものが多く用いられていたが、現在ではバリウムタンゲステート⁴⁵⁾ が多く用いられている。その結果、バリウムの飛散が抑えられ光束維持率の良好な高圧水銀ランプが可能になった。

2) メタルハライドランプ

1956 年に高圧水銀ランプに金属ハロゲン化物を封入した紫外放射ランプが作られ、1962 年に沃化タリウムを用いたランプが開発された。それ以降、種々の金属ハロ

ゲン化合物を組み合わせることで高効率化、高演色化の研究開発が行われ各種のランプが製品化された。メタルハライドランプは始動電圧が高く、専用の点灯装置が必要である。わが国では一般に用いられている高圧水銀ランプの点灯装置で点灯可能なように、始動電圧の低電圧化の研究が進められた。最近では、小型で演色性の良い低ワットの HID ランプが開発され、店舗などの屋内照明にも広く用いられている。

(a) 効率の改善

効率の改善は、発光材料の研究と、発光管内の対流の改善に大きく分けることが出来る。発光材料では、特定の金属ハロゲン化合物を組み合わせることにより複合ハロゲン化合物を形成させて、金属ハロゲン化合物の蒸気圧を増加させる方法がある。代表的な複合ハロゲン化合物として、現在多く用いられているものに $\text{ScI}_3 + \text{NaI}$ がある。この組み合わせでは、組成比を最適化することにより 400W タイプでは $105\text{lm/W}^{46)}$ 、1000W タイプでは $140\text{lm/W}^{47)}$ の効率が報告されている。また、最近研究が盛んに行われている希土類ハロゲン化合物とアルカリ金属ハロゲン化合物の組み合わせも複合ハロゲン化合物である。特に効率の高い組み合わせは $\text{CeI}_3 + \text{CsI}$ 系で、 $\text{CeI}_3 + \text{CsI}$ は $110\sim 115\text{lm/W}(400\text{W})^{48)}$ 、 $\text{CeI}_3 + \text{CsI} + \text{NaI} + \text{SmI}_3$ は $130\text{lm/W}(800\text{W})^{49)}$ が報告されている。

他の方法として、発光管形状や発光管内への封入ガス圧や水銀量などの最適化により、発光管内に発生する対流を改善して、 $\text{ScI}_3 + \text{NaI}$ で $125\text{lm/W}^{50)}$ の効率を得られている。

(b) 色特性の改善

演色性の高いランプとして、錫のハロゲン化合物による分子発光を用いた平均演色評価数 R_a が 92 のランプが 1967 年に実用化された⁵¹⁾。しかし、効率は 50lm/W 弱とやや低かった。

最近、研究が盛んな希土類ハロゲン化合物を用いることにより、可視領域全域にわたる密集スペクトル、さらには分子発光による連続スペクトルにより、演色性の良いメタルハライドランプが得られた。希土類ハロゲン化合物を用いた例として、効率および演色性が良い Dy を用いた $\text{DyI}_3 + \text{TII}$ で効率が 80lm/W 以上で R_a が 90 のランプがある^{52, 53)}。また、 $\text{DyI}_3 + \text{TII}$ に、希土類ハロゲン化合物の HoI_3 と TmI_3 、さらにアルカリ金属ハロゲン化合物として NaI または CsI を加えることによって、 R_a が $85\sim 93$ のランプも実用化されている⁵⁴⁾。

(c) 低ワット化・コンパクト化

上記の効率も演色性もともに良い希土類ハロゲン化合物のメタルハライドランプで、低ワット化、コンパクト化の研究開発が進み、従来、屋外照明に多く用いられていたメタルハライドランプが、屋内照明用にも用途が広まっている。低ワット化に関しては、寿命は短い⁵⁵⁾が 18W 程度まで小型化されたものもある⁵⁵⁾。コンパクト化では石英の直管を外管にした両口金タイプ ($70\text{W}\sim 250\text{W}$) や片口金タイプ ($35\text{W}\sim 150\text{W}$) が開発されている⁵⁶⁾。

一般照明用だけでなく、液晶プロジェクター用光源や自動車用のヘッドランプ用などにも応用展開が進められている。また、自動車用のヘッドランプ用メタルハライドランプでは、専用の安定器により瞬時点灯、瞬時再始動が可能に

なった。

(d) 寿命 (動程特性) の改善

メタルハライドランプは他の HID ランプに比べると、寿命の点でやや劣る。電極に塗布するエミッターの改善⁵⁷⁾ や発光管内に金属ハロゲン化合物以外に金属を封入し光束維持率を改善する研究⁵⁸⁾ も行われている。

メタルハライドランプの発光管に用いられている石英よりも、高圧ナトリウムランプに用いられている透光性多結晶アルミナの方が耐熱性・耐薬品性に優れている。また、現在のメタルハライドランプでも、より高温状態で点灯することが出来ればランプの特性も向上するので、透光性多結晶アルミナ発光管をメタルハライドランプに応用することが検討された。しかし、透光性多結晶アルミナの封止に用いているセラミックセメントと、発光材料である金属ハロゲン化合物が反応を起こすために商品化には至らなかった。近年、発光管の形状を工夫し、セラミックセメントの封止部を発光管の高温部から遠ざけて反応を押さえる構造のセラミックメタルハライドランプが実用化された⁵⁹⁾。まだ、寿命については、現行のメタルハライドランプと同等性能であるが、ランプ間の特性のばらつき、および働程中の特性の変化はかなり改善されており、今後の研究に更なる期待がつのる。

3) 無電極 HID ランプ

最近、発光管から電極をなくし、外部より高周波電磁界を印加して無電極で発光させる無電極メタルハライドランプの研究も盛んである。放電ランプの寿命に大きく関わる電極が無いので、このランプが実現すると、寿命数万時間のランプが誕生することになる。この項をかりて、少し無電極 HID ランプについて述べる。

(a) 点灯方式

大きく分けると次の3種類になる。

● RF 方式

高周波電力を、発光管の外側に巻いたコイルに印加し、誘導結合により点灯させる。(蛍光ランプ等の低圧放電では、発光管外面に電極を設け、容量結合により点灯させるものもある。)

● マイクロ波方式

マグネトロンから発振されたマイクロ波を空洞共振器内に導き、空洞共振器内に設置された発光管(無電極)を点灯させる。

● 表面波方式

低圧放電であるが、発光管外面に発生する電界により点灯させるもの。

(b) 発光材料

無電極ランプでは、ランプ内に封入された発光材料と電極との反応を考慮する必要が無いために、今までの有電極タイプの HID ランプでは使用できなかった新規の発光材料の使用も可能である。また、無電極 HID ランプでは、水銀レスの HID ランプも可能である。

無電極ランプ(低圧放電も含む)での新規発光材料は、金属カルボニル錯体⁶⁰⁾、金属オキシハロゲン化物⁶¹⁾、金属キレート化合物⁶²⁾、オキシハライド⁶³⁾、タングステンまたはレニウムの単体または化合物⁶⁴⁾、硫黄またはセレンの単体または化合物⁶⁵⁾、硫黄に関しては、マグネトロンによるマイクロ波点灯により既に商品化されている⁶⁶⁾。

4) 高圧ナトリウムランプ

環境保全の観点から高圧ナトリウムランプの技術動向をまとめると、使用灯数の削減が可能な高効率化(省エネ)、白熱電球に代替え可能な高演色性、低色温度化(省エネ)、さらにランプの交換回数を減らし廃棄物量の減少を可能にする長寿命化、有害物質をなくす水銀レス化などがある。

(a) 効率の改善

1961年に透光性アルミナセラミックを用いた高圧ナトリウムランプが初めてランプ化され、1965年に商品化された。高圧ナトリウムランプは、HIDランプ中で最高の効率を有するランプで、開発されて以来30年が経過している。当初、105lm/Wの効率は現在では、アルミナセラミックの透過率の向上、キセノン封入圧を高めることにより139lm/Wまで効率が向上した(約32%の向上)⁶⁷⁾。さらに特殊ランプではあるが6KW⁶⁸⁾や50KW⁶⁹⁾のランプで150lm/Wの効率が得られているとの報告もある。

(b) 色特性の改善

高圧ナトリウムランプは、効率は高いが、色温度が低く、演色性も劣るといふ問題があった。色温度を高めるために、ナトリウム蒸気圧を高める方法と、パルス点灯による方法がある。ナトリウム蒸気圧を高める方法では、外管内に窒素ガスを封入し発光管の管壁負荷を上げ、ナトリウム蒸気圧を高めることによって色温度を2700Kまで⁷⁰⁾、また、パルス点灯では、色温度を2800Kまで上げることができるとの報告がある⁷¹⁾。また、80Wの水銀レスの高圧ナトリウムランプでは、電子安定器と組み合わせて、色温度を2600Kと3000Kに切り替えができるものも開発されている⁷²⁾。

演色性は、ナトリウム蒸気圧を高めたり、発光管内径を大きくすることにより改善されるが、ランプ効率は低下する欠点がある。現在商品化されている例は、演色改善形として、色温度が2150K、Raが60、ランプ効率が80~110lm/W、演色本位形として、色温度が2500K、Raが85、ランプ効率が46~51lm/W、および、色温度が2800K、Raが78、ランプ効率が38~42lm/Wのものがある⁷³⁾。

(c) 低ワット化・コンパクト化

高圧ナトリウムランプを電球の代替にするには、小型化が必要である。U形発光管を用いた70Wの超小型高演色形高圧ナトリウムランプ(外管径26mm、全長84mm)⁷⁴⁾や、両口金形コンパクト形高圧ナトリウムランプも開発されている。低ワットでは、自動車のヘッドライト用ではあるが、30Wのランプも報告されている⁷⁵⁾。

(d) 寿命の改善

高圧ナトリウムランプでは、ナトリウム、キセノンガスおよび水銀が封入されており、ナトリウムがランプの点灯中に高温の発光管構成材料と反応して消失する。ナトリウムが消失すると、ナトリウムと水銀の比率が変化し水銀の比率が増加するので、ランプ電圧が上昇し、消灯電圧が上昇するので立ち消えが起き、この立ち消え現象が一般的な高圧ナトリウムランプの寿命末期現象となる。

このナトリウム消失現象は、ナトリウムと電極に塗布された電子放射性物質との反応が影響が大きいと報告されており⁷⁶⁾、これらの改善の研究が進められていて、ランプ材料の最適化により長寿命化が図られると考えられる。

長寿命化の方法として、水銀を不飽和状態にしナトリウム蒸気を飽和状態にすることにより、ランプ電圧の上昇を防止し、立ち消え現象を抑える方法も報告されている⁷⁷⁾。

また、外管内に発光管を2個並列に接続し、発光管を交互に点灯することによりランプ寿命を2倍にした交互点灯形高圧ナトリウムランプが開発された⁷⁸⁾。

5) 無水銀化の研究

HID ランプの水銀は、蛍光ランプにおける水銀の役割(蛍光体を発光させるのに必要な紫外放射源)と異なり、バッファガスの機能を有している(高圧水銀ランプでは、発光材料との機能も有している)。バッファガスとしての水銀は、放電空間へ入力された電気エネルギーを熱エネルギーに変換し、この熱により発光材料を蒸発させる。また、ランプの電気特性を決める重要な要因である。蛍光ランプでは水銀の減量はある程度まで可能である。しかし、HID ランプでは単なる水銀の減量によっては、現行の安定器で点灯可能な電気特性を維持することは困難である。HID ランプにおける水銀レス化は、水銀に代わるバッファガスの研究につながる。現在、水銀に代わるバッファガスとしてキセノンガス等を用いた研究がなされ、高圧ナトリウムランプにおいては既に商品化されたものもある。今後もこの研究は進むと思われるが、点灯方式等と組み合わせた現行ランプとの互換性は持たないが新規システムとして考えたならば、蛍光ランプでは困難な水銀レスであるが、HID ランプにおいてはまだまだ水銀レスの可能性があるとと思われる。

以下、「水銀レス」をキーワードとしてHID ランプについて調査した結果を記す。文献では、全般に関するものとして、水銀レスのHID ランプについて過去30年間にわたる特許や文献の調査報告がある⁷⁹⁾。メタルハライドランプに関しては、水銀代替のバッファガスに関するもの⁸⁰⁾、セラミック発光管を用いたものがある⁸¹⁾。高圧ナトリウムランプに関しては、最近10年間の高圧ナトリウムランプ技術レビューで少し述べられたもの⁸²⁾、Xeガスをバッファガスとして用いたもの⁸³⁾の報告がある。

特許では、メタルハライドランプにおいては、有電極ランプ⁸⁴⁾、無電極ランプ⁸⁵⁾ともバッファガスに不活性ガスを用いたものであり、有電極ランプで特長のあるものは、グロー放電を用いたもの⁸⁶⁾、バッファガスにアルゴンと水素の混合ガスを用

いたもの⁸⁷⁾、点灯装置と組み合わせもの⁸⁸⁾、また、機能として調光機能⁸⁹⁾や調光機能に加えて瞬時始動・再始動が可能になったものが出願されている⁹⁰⁾。紫外放射用ではあるがショートアークランプでは、希ガスと発光材料として金属を用いたものが出願されている⁹¹⁾。また、有電極ランプ⁹²⁾、無電極ランプ⁹³⁾とも希ガスのみを封入したランプに関する出願もある。

高圧ナトリウムランプにおいて、有電極ランプに関しては、バッファガスにキセノンを用いたもの⁹⁴⁾、ネオンとアルゴンの混合ガスを用いたもの⁹⁵⁾、亜鉛を用いたもの⁹⁶⁾が出願されている。また、無電極ランプに関しては、セラミック発光管を用いたものが出願されている⁹⁷⁾。

無電極ランプでの新規発光材料の可能性について既に述べたが、その中には、水銀レスで新規発光材料に関する出願もある^{63, 65)}。

高圧ナトリウムランプに関しては、水銀レスのランプが既に商品化されている。色温度は2200Kで、透明形では50~400Wで4000~55000lm、拡散形では50~400Wで3600~52500lmである⁹⁸⁾。専用電子安定器を用い、光束が4500lmで色温度が2600Kと3000Kに切り替えが可能な80Wの水銀レスの高圧ナトリウムランプも商品化されている⁹⁹⁾。

また、水銀レスではないが、水銀量が従来の高圧ナトリウムランプにくらべて75~90%低減した高圧ナトリウムランプも開発されている¹⁰⁰⁾。

5.1.4 その他の光源

1) 白色LEDランプ

InGaN系青色LED(ピーク波長465nm、半値幅30nm)と表5.3に色度座標を示すYAG系蛍光体 $(Y,Gd)_3(Al,Gd)_5O_{12}:Ce$ を組み合わせることにより、色温度8000K、発光効率5.0lm/Wの白色LEDランプを実現することができた。このランプは、断線の恐れがなく長寿命で熱の発生が極めて少なく、また、YAG系蛍光体の組成の変更により3000Kから10,000Kまでの色再現が可能である。この白色LEDの色再現範囲を図5.4に示す。将来、さらに発光効率が高まれば、様々な光環境の演出の可能性を持つランプである。

5.1.5 海外の法規制の動向

欧州及び米国における動向についてはH.P.Stormbergが最近の動向を報告している¹⁰¹⁾。これによれば大部分のヨーロッパ諸国では水銀を含む全てのランプは危険物ゴミとして処理することが義務付けられている。中でもオーストリア、ベルギー、ドイツ、イタリア、オランダ、スイス、スカンディナヴィア諸国は分別収集、リサイクル制度が機能しており廃棄はもはや許されていないと報告している。早くから問題意識を持っている欧州ではあるが濃淡が見られる。しかし、ドイツで検討されている“電気・電子機器回収法令”が現実となるとISO-14000制定の動きと合わせて全欧州で実現の方向となると予測できよう。欧州での再利用用途で、わが国と異なる点はランプガラス製造者が再利用している点である。

米国においては同じ報告でランプに含まれる物質の中で水銀を有害物質の一番目に定

義しているが、ランプの廃棄、リサイクルについては欧州に比して遅れていると思える。同報告によれば、大量廃棄される場合は危険物ゴミとして扱われるが、一般家庭から出るものは通常のゴミとして廃棄されている。現在、蛍光ランプ廃棄に関する新しい連邦法が検討されていると報告されているが、J.M.Chilcott が報告しているように、方向性がまだ定まっていないように思える¹⁰²⁾。

他方蛍光ランプ製品の“エコマーク商品”、“省エネルギー推奨商品”の付与基準として、「エネルギー効率」「水銀量」「包装材料」「廃棄処分方法」の各項目を満たさなければ付与が許可されないような動向も欧米にて報告されている¹⁰³⁻¹⁰⁵⁾。米国の例を表 5.4、5.5 に、EC の例を表 5.6 に示した。

本問題に関して問題意識が高い欧州の動向が先進的役割を担うものと予測、且つ期待されよう。

5.2 照明回路 (点灯装置)

3.2.2項で述べた環境課題を解決するための技術開発の取り組み状況と省エネルギー・省資源化の動向を述べる。

5.2.1 環境影響物質の削減動向

照明回路の環境影響物質のうち、フロンはすでに使用が中止され、また、Ni-Cd 電池は回収が実施され、これらの環境影響はすでに防止されている。ここでは、現時点で改善に至っていない未解決の二つの課題(プリント基板用臭素系難燃材とはんだ)について述べる。

1) プリント基板用臭素系難燃材¹⁰⁶⁻¹⁰⁸⁾

臭素系難燃材はダイオキシンを発生し環境を汚染する可能性が指摘されている。この臭素系エポキシ樹脂の使用をなくする、ハロゲンアンチモンのフリー化技術の開発が進められている。表 5.7 に現在までに開発された非アンチモンハロゲン系プリント基板の性能を抜粋して示す。表 5.7 から、耐トラッキング性や長期熱劣化特性が従来品より優れるのに対し、一般特性の引き剥がし強度と曲げの強さでは従来品に劣る。また、耐マイグレーション性やスルーホール信頼性では、従来品とほぼ同等である。このように主な性能面ではほぼ従来品レベルに達しているがコストや現行の実装プロセスとの適合性に課題が残っている。

2) はんだ¹⁰⁹⁻¹¹³⁾

現行のはんだに代わる鉛レスはんだや導電性接着剤の開発が進められている。表 5.8 に開発中の技術と現状のはんだの特性比較を示す¹⁰⁹⁾。

このうち、導電性接着剤は一部半導体分野で実用化されている。また、図 5.5 に Pb フリーはんだの実現に向け、現在の改善アプローチを示す¹¹⁰⁾。

主なアプローチとしては、Sn-Pb 系共晶はんだの Pb 部分を Ag や Zn に置き換え、さらに Bi、In を添加して融点温度の調整やねれ性の改善が進められている。表

5.9に開発中のPbフリーはんだとして可能性の高いSn-Ag系とSn-Zn系の特性比較を示す¹¹⁰⁾。

これらの図表より、PbフリーはんだとしてはSn-Ag系が性能的に優れ、一部の特性ではPb共晶はんだを越えるものも開発されているが、コストやプロセスへの適合性など課題が多く、いずれも実用レベルに達していないのが現状である。

5.2.2 省エネルギー・省資源化

照明回路は、磁気式(銅鉄)安定器から電子安定器(インバータ)への切り替えが進むことにより、点灯装置自体の効率の向上、ランプ発光効率(lm/W)の向上が図られてきた。32Wの高周波点灯専用ランプと電子点灯回路の組み合わせで、 $90lm/W$ 以上のシステム効率(ランプ単体では、 $100lm/W$ 以上)が得られるレベルに達している¹¹⁴⁾。点灯装置では、さらなる効率向上に向け、照明回路専用の半導体や電子部品の開発・導入が始まっている。

また、点灯回路の省資源化への技術開発では、点灯波形の改善や電子点灯回路の点灯周波数のアップ、電子部品の削減設計が進められている¹¹⁵⁾。HIDランプ用点灯回路では、矩形波点灯方式の導入による効率向上や、直流点灯方式の採用による回路部品の削減がはかられている。また、蛍光ランプ用点灯回路では、高周波化が進められている。

5.3 照明器具

照明器具を環境保全の観点からみると、大きく分けて(1)有害物への対策、(2)廃棄物としての対策、(3)省エネルギー化の取り組みが中心である。

5.3.1 有害物減少への取り組み

照明器具に含まれる環境影響物質(有害物質)としては、照明回路を除くと、PCB入り安定器とNi-Cd電池がある。これらの対策状況について以下に示す。

1) PCB入り安定器

PCB(ポリ塩化ビフェニール)は、安定器の力率改善コンデンサの含浸油に用いられてきた。しかし、その有害性が明らかになり、順次代替が進み、1972年の8月までに無害な物質への取り替えが完了した。また、取り替え以前に生産され、使用が終了したPCB入り安定器は、厚生省の指導のもと、法規上、排出した事業者で保管が義務づけられている。

2) Ni-Cd電池

Ni-Cd電池は、非常用照明器具および誘導灯器具の非常点灯用電源として使用されている。このNi-Cd電池を構成するNiとCdは、リサイクル法の第2種指定物質となっている。このため、照明器具に内蔵されているNi-Cd電池は、(社)日本蓄電池工業会の回収に協力して、(社)日本照明器具工業会が回収ルートを設定し、回収が実施されている。

5.3.2 廃棄物対策

廃棄物照明器具の減量化、再資源化、処理の容易化が(社)日本照明器具工業会で推進されている。(社)日本照明器具工業会は製品アセスメントマニュアル(内部資料)¹¹⁶⁾を制定し、新製品の設計製造に際して、製品アセスメントを実施するよう照明器具メーカーを指導している。この製品アセスメントでは、材料の減量化、再資源化、破碎減量処理の容易化、分解分離処理の容易化、分別処理の容易化、回収と運搬の容易化、安全性と環境保全、包装について、情報を開示している。なお、(社)日本電球工業会においても製品アセスメントマニュアル¹¹⁷⁾を制定している。

1995年の調査によれば、製品アセスメント実施の結果、梱包(主として段ボール材)の内部緩衝材に用いられてきた発泡スチロールの使用を止めて段ボール部品に置き換える動きが目立ち、ついで、プラスチックの材料表示や本体の軽量化、部品点数の削減が現れた。照明器具製品の特質(少量多品種、継続製品のウエイトが大きい)やリサイクルに対する社会システムの確立の遅れから、廃棄物対策の実施はこれからの課題である。

5.3.3 省エネルギーへの取り組み

照明機器は、白熱ランプから蛍光ランプ、HIDランプへの流れ、磁気式(銅鉄)安定器から電子安定器(インバータ)化への流れとともに、省エネルギー化指向が強い。近年、省エネルギー法に関連条項が導入され、この傾向がますます強くなってきた。この省エネルギー法では、次の規制項目が決められている。

- 1) 機械器具に係るエネルギー使用の合理化
- 2) 建築物に係るエネルギー使用の合理化

また、省エネルギー法とは別に、時限立法ではあるが、Hf 蛍光ランプ器具と照明制御装置に太陽光感知装置を加えたシステム設備が、「高効率照明装置」としてエネルギー需給構造改革投資促進税制(エネ革税制)の対象設備として指定されている¹¹⁸⁾。

これらの規制により、高周波点灯専用蛍光ランプ(Hf 蛍光ランプ)をはじめとする効率の高いランプの採用、及び安定器の電子化、照明制御システムの採用が促進されている。

以下に、1)、2)の内容をまとめる。

- 1) 機械器具に係るエネルギー使用の合理化

蛍光ランプが「特定機器」に指定され、個々のメーカーが1年間に出荷する照明器具のランプ+安定器のエネルギー消費効率の加重平均値の2000年達成目標値が決められた。ここで言うメーカーには、照明器具の輸入事業者も含まれる。表5.10に、省エネルギー法でいう特定機器「蛍光ランプ」の指定内容と判断基準の概要を示す¹¹⁹⁾。この指定により、基準エネルギー消費効率として40形以上の施設用器具は75lm/W、家庭用つりさげ器具及び卓上スタンドは62lm/Wの値が決められた。このエネルギー消費効率を満足するためには、高効率のランプ、点灯回路の電子化(蛍光ランプの高周波点灯)等が必要となる。

2) 建築物に係るエネルギー使用の合理化

特定建築物(2000m²以上の事務所、物販店舗、ホテル・旅館、病院、学校)の照明設備のエネルギーにおいて、照明エネルギー消費係数(CEC/L)(図5.6による)¹²⁰⁾が、各特定建築物で定めた判断基準レベル以下となることを要求している。また、この照明エネルギー消費係数(CEC/L)が、努力指針レベルを達成した場合、「省エネ・リサイクル支援法」により、建築物への省エネルギー形設備の導入(特定事業活動)に対する日本開発銀行等による低利の融資制度の支援措置が講じられることになる。ここで、照明エネルギー消費係数を判断基準レベル・努力指針レベル以下とするためには、省電力形安定器の採用等により、照明消費電力を小さくするとともに、照明制御を付加し、照明設備の制御等による補正係数を小さくして、省エネルギーに貢献する必要がある。

5.3.4 社会システムの確立

3.3項で述べたように、照明器具はランプ、点灯装置を含む多くの材料の集合体であり、さらに、使用者の様々なニーズを満たすため多くの機種が作られている。一方、10年以上の長寿命が期待されつつ、低価格化への要求が厳しい商品である。

このような現状の中、照明器具は、国際整合化を含む諸規格・基準への適合と、省エネルギー・省資源など社会的要求を満たし、かつ廃棄物対策・リサイクル対策という課題を解決する必要がある。

5.4 照明材料

照明製品に使用されている材料についてはランプ、器具の各章で説明されているが、処理問題や省資源の点で重要と思われるので再度ここで纏めて現状と問題点を記載する。

照明製品に使用されている材料を重量比率で考えると器具に使用されている鉄、銅などの金属やプラスチック類が大きくなるが、これらは一般家電製品などの問題と同じである。

ここでは、照明製品特有の材料として、水銀、蛍光体について説明し、最近電気製品全体で問題になっているはんだの動向について記載する。

5.4.1 水銀

照明システムの環境問題を考えた場合、蛍光ランプ中の水銀は、一本当たりの量は僅かではあるが、使用されている本数が多く、有害性が高い材料のため最も重要な課題の一つである。ランプの説明の章でこの問題について記載されているが、ここで再度、ランプの水銀問題についてまとめる。

1) 水銀の一般的性質^{121, 122)}

水銀は常温において液体で存在する唯一の金属で、原子量は 200.6 で、融点は -38.8°C 、沸点は 356.6°C 、比重は 13.5 と大きく、重い銀白色の金属である。蒸気圧は 20°C で $1.2 \times 10^{-3} \text{mmHg}$ と高く、蒸発しやすい元素である。

水には極わずか(室温で 100cc の水に $2 \times 10^{-6} \text{g}$)解ける。地球の地殻には重量比で 0.08ppm 存在する¹²³⁾。純水銀は毒物で化合物も毒物か劇物に指定されており取り扱い上の規制がある。

2) 利用の歴史

水銀の利用の歴史は古く、硫化水銀がきれいな朱色であることから顔料として紀元前から使用されていた。日本は火山国であるため水銀が豊富に産出し、各地に丹生(辰砂:HgSを生産するの意)という地名が残っている。また、他の金属と合金(アマルガム)を作りやすい性質を利用して奈良の大仏の金メッキを行っていたという話は有名である。工業の発展と共に使用量が増加し、1970年頃までは農薬、苛性ソーダ製造用、ペイント、医薬品などに世界で年間約1万トン使用されていた。その後、水銀の有害性が問題になり急激に使用量が減少している。

照明関係での水銀の利用も古く、1900年頃にCooper-Hewittにより水銀ランプが開発されている。このランプは色が悪いため電球に置き換えられてしまったが、1931年のピラニ(Pirani)による高圧水銀灯、1938年のGE社のインマン(G.Inman)等による低圧水銀灯(蛍光ランプ)で本格的な使用が始まっている。その後、発光効率、寿命の改善が進み、一般照明用として蛍光ランプが広く使用されている。また、高圧水銀ランプ、メタルハイドランプ、高圧ナトリウムランプにも水銀が利用されており、照明用ランプには欠かせない材料になっている。

3) 有害性

水銀の有害性は近代にはいって毒性の強さから、いわゆる毒物、劇物として使用、流通において保険衛生上の見地から規制が加えられてきた。たとえば”毒物及び劇物取締法”による保存方法、取り扱い場所などの規制、また作業所の労働者に対する保険衛生上の点から労働衛生法による基準や条件規制がなされている。こうした有害物の取り扱い規制の立場とは別に、1960年代中頃から環境汚染の問題からの規制の必要性が認識されてきた。特に日本の水俣病問題が契機になり世界的に水銀の環境問題が重要視されている。日本での規制は“公害対策基本法”、“水質汚濁防止法”により環境基準、排水基準が設定されている。

4) 蛍光ランプの水銀

(a) なぜ水銀が使用されるか

蛍光ランプでは、放電によりランプ内で蒸気になっている水銀を励起し、紫外放射を発生させ、この紫外放射をガラス管に塗布してある蛍光体に当て可視放射を出している。放電により効率良く光を発生させるための材料に要求されることは、(1)それほど高温でない状態で高い蒸気圧を持つこと、(2)適当な波長の紫外放射あるいは可視放射を効率良く放射すること、(3)ガラス、電極の材料などと出来るだけ反応しないこと、(4)放電空間で安定であること、等である。水銀は常温で最も高い蒸気圧をもつ金属で、 40°C で254nmの紫外放

射を放電電力の60%もの高い効率で発生する¹²⁴⁾。またガラス、蛍光体、電極材料との反応も比較的少なく、単元素であるためそれ自体が変化することはない。このため普通のガラスが使用でき、電極材料も安価なものが使用できる。また、254nmの波長の紫外放射で効率良く可視放射を発生する蛍光体が開発されており、この蛍光体を発光させる方法により可視放射の波長範囲が広くとれ、演色性の良い光を得ることができている。

一方、HIDランプでは水銀は発光以外に、適切な電気特性を得るために必須の材料となっている。

以上のように水銀は放電ランプに最も適した材料で、極端な言い方をすれば、現在の照明用ランプは水銀が存在したから可能になったと言える。

(b) 水銀の減量化

国内で蛍光ランプに使用されている水銀量は1990年のデータでは約8.4トンで、水銀の国内総需要143トンの約5.8%である。環境保全を考えた場合、この量は出来るだけ減量すべきである。水銀の減量化の理想は水銀を全く使わないランプであるが、現時点では水銀の代わりに一般照明に使えるものは期待薄である。実現可能な方法は、現在の封入量を減らすことで、基本的に必要な量を減らすことと、製造時のばらつきを押さえ、本来必要な量に出来るだけ近づけることである。以下に各方法の現状と見通しを述べる。

(i) 水銀を使わない蛍光ランプ

水銀を使わない蛍光ランプはかなり古くから検討されているが、今のところ可能性は極めて低い。既に述べたように、代替え封入物は常温近くで高い蒸気圧を持つ必要があるため可能性のある材料は限られる。考えられる物としてはナトリウム、カドミウム、セシウム、硫黄、隣、塩素、臭素、沃素などが蒸気圧からの候補であるが、演色性、発光効率の点から水銀には及ばない。ナトリウムは水銀の紫外放射と同様に589.0と589.9nmの光を効率良く発生する。しかし、この光は黄色で一般の照明用として使用するのには無理がある。また、260°C程度の温度が必要で、普通のガラスとの反応があるため特殊なガラスが必要である。その他の材料では効率が低く、比較的効率の良いカドミウムで46lm/Wが予測されているが、水銀と同様に環境上問題がある。

どうしても水銀の無いランプを望むとすれば、HIDランプのようにバルブを高温にして封入物の蒸気圧を高める方法しかない。HIDランプを水銀無しにする研究はかなり進んでおり、たとえば、最近開発された無水銀高圧ナトリウムランプや硫黄を使用した無電極HIDランプなどがある。しかし、演色性、価格、ワットの大きさの点で一般照明に使い難いという問題がある。

一方、現在実用化されている水銀無しの蛍光ランプとして、希ガス放電タイプがある。この種のランプは環境問題対策を狙ったものではなく、水銀を使用した場合の明るさの周囲温度の依存性の対策を狙ったものである。主な用途としてはファクシミリ、イメージリーダー、複写機用等のOA機

器用である。最大効率として報告されている値は 25lm/W である¹²⁵⁾。特許では誘電体バリヤ放電を応用して 37lm/W の値も記載されている¹²⁶⁾。この効率を上げる手段としては蛍光体の改良が考えれるが、基本的に水銀の 254nm の発光効率に比べて希ガス(キセノン)の 147nm の発光効率が低いこと、波長の差(より短波長の紫外放射を可視放射に変換するロス)の問題がある。

以上のように現在の技術、材料では限界があるが、何か革新的技術が開発されて水銀を使用しない一般照明用蛍光ランプの実現が期待される。

(ii) 必要水銀量の低減

蛍光ランプが点灯中に使用している水銀量は、温度 40°C で蒸気 (0.8Pa) になっている量で、 20W のランプで 0.02mg 、 40W のランプで 0.055mg である。理想的にはこの量で良いわけであるが、現実のランプでは点灯中に蛍光体との反応、ガラスへの侵入、電極材料中の酸素、不純ガスとの反応等により消費される¹²⁷⁾。現在市販されているランプの必要水銀量は数 mg とされている。この量を減らすためにはランプ内に使用されている材料の改良が必要である。ランプ材料と水銀の関係の研究は、主に点灯中の明るさ劣化対策を目的として行われてものが多いが、本質的には水銀必要量の低減につながる。多く調べられているのはガラスと水銀の関係で、ガラス中のナトリウムと水銀が置換され、ガラスが黒化すると考えられている¹²⁸⁻¹³⁰⁾。この対策としてガラス素材の改良や保護膜が検討され実用化されている¹³¹⁻¹³⁵⁾。また最近、必要水銀の低減効果を目的とした研究も報告¹³⁶⁻¹³⁹⁾ されており、酸化イットリウムの膜が良いとされている。

蛍光体についてもかなり以前から劣化原因を中心に調べられており、最近では表面処理による改良の研究が盛んである¹⁴⁰⁻¹⁴²⁾。さらに、必要量の変化も調べられており、蛍光体の種類により消費量が変わり、三波長蛍光体の方が Ca ハロ蛍光体より消費量が少なく、約 $1/2$ 以下であるという報告^{137, 139)} は注目すべきである。なお、三波長蛍光体の中の種類の差も報告されている¹³⁷⁾。

蛍光ランプの電極材料は Ba、Sr、Ca 系の酸化物をタングステンコイルに塗布したものが使用されており、点灯中に蒸発した Ba と水銀のアマルガムや、酸素と反応した酸化水銀が管壁に付着すると言われている。この消耗メカニズムに対する報告はほとんどされていない。電極材料の研究はランプ寿命の延長だけではなく、必要水銀量削減に関しても重要なので今後の検討が望まれる。

以上、ランプの必要水銀量の低減は環境対策として実効が期待され、今後さらに研究が進むと考えられる。

(iii) 製造工程での削減

現在最も進んでいる水銀量低減策は製造工程での削減である。電球工業会の纏めでは、国内のランプ一本を製造するのに使われている量は、昭和 50 年頃の 50mg から急激に減少し、その後も徐々に減っている。またラン

プ内に封入されている量も減少しており、現在は一本当たり 10mg 以下のランプが多くなっている。これは、主に製造工程の改善により封入量のばらつきを減らし、平均値を低下させた結果である。この封入量削減の技術は昭和 40 年頃から検討され、蛍光ランプの JIS(JIS C7601)にも減量化の必要性とその方式が記載されている。照明学会誌に広田氏による封入技術の論文¹⁴³⁾が掲載されている。詳しい内容は広田氏の論文を参照していただきたいが、ここではその概要と最近の技術について紹介する。

蛍光ランプへの水銀封入方法は大きく分けて、液体水銀を直接封入する方法、水銀合金を利用して固体で封入する方法、ガラスなどのカプセルを使用する方法がある。

液体水銀を直接封入する方法は最も一般的に行われている方法で、図 5.7 に示すドーザーと言われる装置が使用されている。この方法はランプ内に純粋な水銀だけが入り、最も経済的である。しかし、微量の水銀は小さなつぶ(10mg で直径が約 1mm の球)になるので、排気管などに付着し、ランプ内に入らないという問題が発生する。このため、若干多めに封入している。この方法は現在も機械精度を上げる方法、図 5.8 のように水銀被覆器と言われる装置を取り付け、水銀粒を安定な酸化物微粒子で被覆し、排気管に付着しないようにする方法など、種々の改善努力がなされている。

水銀合金法は水銀をアマルガムや金属間化合物の状態にして、固体でランプ内に封入する方法で、種々の材料が開発実用化されている¹⁴⁴⁾。代表的なものは In、Bs、Sn 等とのアマルガムを使うもので、コンパクト形や電球形のランプで、点灯中の温度上昇による明るさ低下の防止を主目的として使用されている。また、直管形や環形の一般形のランプの封入量を安定化させる目的で開発されたチタンと水銀の金属化合物 (Ti_3Hg)₂¹⁴⁵⁾ は昭和 50 年頃から実用化されており、最近では液晶のバックライト用の冷陰極蛍光ランプにも使用されている。これは金属板 (Ni、Fe) に付着させた Ti-Hg 合金をランプ内に設置し、排気終了後、高周波やレーザーで加熱し水銀を放出させるものである。使用例の形状を図 5.9 に示す。その他、鉄と銅の多孔質体や多孔質セラミックに水銀を含ませてペレット状にしたもの¹⁴⁶⁾や、亜鉛と水銀の合金粒が提案¹⁴⁷⁾されている。共にアマルガムでの水銀蒸気圧の低下を避けて、普通の蛍光ランプに使用することを目的にしている。図 5.10 に亜鉛-水銀合金の蒸気圧データを示す。これは亜鉛と水銀が重量比 52:48 の合金の場合で 5~70°C で純水銀と殆ど同じ蒸気圧を示している。この合金は国内の一部の製品で使用され始めている。

カプセル法は小さなガラスチューブ内に、一定量の水銀を封入したカプセルを図 5.11 に示すような状態でランプ内に固定し、排気後、高周波加熱等でガラス管を割り水銀を出すものである。別工程でカプセルを製造するため水銀量を精度良く封入出来る。これも国内外で使用されている。

最近、欧米のランプメーカーより水銀封入量を 3mg にした蛍光ランプが、環境対策製品として売り出されているのはこれらの技術の応用である。

以上、封入技術は 2) の必要量の低減技術と直結する重要な技術で、今後の進展が期待される。

5) ランプの廃棄

蛍光ランプの水銀問題は、使用済みランプの処理方法をどうするかにつながる。蛍光ランプに封入されている程度の量は、金属水銀の状態では通常的环境中でそれほど害は無いとされているが、破棄方法が不適切で水を汚染した場合、微生物により有機水銀化し、魚貝類に含まれ濃縮する可能性があり、大きな問題になる恐れがある。この破棄の問題については、かなり前から真剣に検討されている。纏まった報告としては 1972 年に米国政府が発行した NIPCC(National Industrial Pollution Control Council) のレポート¹⁴⁸⁾がある。結論として、水銀量が僅かであるため環境自体に脅威を与えるものではないが、出来るだけ一カ所にまとめて捨てないようにすることと、公共水域に投入しないようにすべきと述べている。最近の報告では、1993 年の IAEEEL newsletter¹⁴⁹⁾に欧米の状況、1995 年の LD+A¹⁵⁰⁾に米国の状況が報告されている。これらの報告によるとヨーロッパでは回収システムが進んでいるが、北米では平均で 2%の回収率である。また、欧米では蛍光ランプに対して白熱電球の使用比率が高いが、化石燃料発電での水銀の放出を考えると、単位明るさ当たりの水銀放出量は、図 5.12 に示すように、コンパクト蛍光ランプの方が白熱電球より少ないとしている。同様な内容が I E S N A の 93 年大会、LS7(京都)で報告¹⁵¹⁾されている。LS7 での報告は日本語訳が渡辺氏により照明学会誌¹⁵²⁾に掲載されている。

国内では電球工業会を中心に、使用済み蛍光ランプの処理方法を含めて、昭和 53 年頃から調査研究が行われて詳しい報告書が出されている。

詳しくはこれらの文献を参照して欲しいが、いずれにしろ回収処理には経済的問題が付随し、一般消費者の理解も必要なため時間をかけて解決する必要がある。

6) まとめ

蛍光ランプの水銀の問題は 30 年も前から工業会を中心に真剣に検討されており、現在もメーカーで減量の研究開発が進められている。

水銀に代わる材料が無い現状では、回収方法を含めて、ランプ内の量の削減、ランプ寿命延長など総合的に対策を進める必要がある。

5.4.2 蛍光体

蛍光体(phosphor)とはルミネッセンス(発光)を伴う物質のことであり、ルミネッセンスとは物質の電子状態が外部からエネルギーを与えられることによって励起され、励起エネルギーが光として放出される現象のうち熱放射を除いたものである。この場合の光とは、狭義には可視放射、すなわち波長 380~780nm の電磁波をさすが、物理的にはその前後の波長域も含め紫外-可視-赤外域の電磁波を意味する。

電磁波を吸収して可視部の光を発する物質は古くから知られていたが、19 世紀末より紫外放射、X 線、電子線を発生し制御する装置と蛍光体を組み合わせて発光デバイスとして利用するようになり、今日ではその用途も照明のみならずディスプレイ、医療等多岐の分野にわたっている。

照明用蛍光体としては、低圧 (1.0Pa 程度) 水銀アーク放電の陽光柱における水銀共鳴線 (波長 254nm および 185nm) を励起源とする低圧水銀ランプ (蛍光ランプ) 用と、高圧 (300kPa 程度) 水銀アーク放電の陽光柱における水銀共鳴線 (波長 365nm) を励起源とする高圧水銀ランプ用とがある。

ここでは、蛍光ランプの省エネルギー・省資源化を目的とした照明用蛍光体の開発・改良に関する技術変遷について、環境保全の観点を加えて概説した。

1) 蛍光体の技術変遷

図 5.13 に蛍光ランプの効率向上の経緯を示す。照明用蛍光ランプは GE 社の Inman が 1938 年に初めて完成し、わが国では東京電気株式会社 (現 (株) 東芝) が 1940 年に発表した効率 30lm/W の昼光色ランプが最初である。このランプの蛍光体には青色蛍光体として MgWO_4 、緑色蛍光体として $(\text{Zn} \cdot \text{Be})_2\text{SiO}_4:\text{Mn}^{2+}$ 、赤色蛍光体として $\text{CdB}_2\text{O}_3:\text{Mn}^{2+}$ が用いられた。この蛍光ランプは法隆寺金堂の壁画模写用の光源として使用されたことはよく知られている。しかし、わが国では 1941 年より第二次世界大戦に突入したため本格的製造には至らなかった。一方、このように初期の蛍光ランプの効率は低く、蛍光ランプの普及拡大をはかるためにはより高効率の蛍光体の開発が望まれていた。こうした状況の下で、1942 年にイギリスの Mckeag らによってハロリン酸カルシウム蛍光体 ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{FCl}:\text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$) が発明され¹⁵³⁾、その後の蛍光ランプ用蛍光体の主役となった。ハロリン酸カルシウム蛍光体を用いた初期の蛍光ランプの効率は 60lm/W であったが、粒度分布の改良 (1960 年)¹⁵⁴⁾、Cd 添加によるカラーセンターの改良 (1963 年)¹⁵⁵⁾、粒子径の改良 (1964 年)¹⁵⁶⁾、蛍光体組成比の改良 (1965 年)¹⁵⁷⁾、等々多くの改良が加えられ現在では 80lm/W となっている。なお、Cd 添加については、公害問題がクローズアップされた 1971 年以降使用が自粛され、現在では添加されていない。

その後、蛍光ランプの性能が大きく飛躍したのは 3 波長域発光形蛍光ランプの登場による。青 (440nm)、緑 (545nm)、赤 (610nm) の 3 つの波長域に効率よく発光を集中すれば高効率で高演色の蛍光ランプが得られることは理論的に予測されていたが、この理論を実現する蛍光体が開発されていなかったことで商品化が遅れていた。1974 年、オランダの Philips 社がこの理論を具現化する青色蛍光体 ($\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$)、緑色蛍光体 ($\text{MgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$) を開発し、従来の赤色蛍光体 ($\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$) と組み合わせた 3 波長域発光形蛍光ランプ (New Generation Lamp) を商品化した¹⁵⁸⁾。国内においては、当時 Philips 社との合弁会社である松下電子工業 (株) を傘下に持つ松下電器産業 (株) が 1977 年、この 3 波長域発光形蛍光ランプの商品化をいち早く行いその後のわが国における蛍光ランプの普及促進に貢献している。特に、わが国では家庭用にも蛍光ランプが普及しており、3 波長域発光形蛍光ランプを用いた照明における人の肌色の見え方の良さ、明瞭感、透明感など照明効果の高いランプとして幅広い市場からの支持を得ている。以降、3 波長域発光形蛍光ランプ用希土類蛍光体 (3 波長蛍光体) の研究開発が活発に進められ今日に至っている。その中で、演色性および全光束の向上や寿命中の光色変化の抑制などのため、主として青色蛍光体と緑色蛍光体の開発・改良が図られ、青色蛍光体では $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+}$ が、緑色蛍光体では $\text{LaPO}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ が開発され、現在のわが国の 3 波長域発光

形蛍光ランプ用蛍光体の主流になっている^{159, 160}。

2) 蛍光体の需要動向と消費量

主要蛍光体の国内消費量を蛍光ランプの生産高(図 5.14)及び出荷数量の構成比(図 5.15)と蛍光体塗布量(表 5.11)から計算すると、

ハロリン酸カルシウム蛍光体…… 約 750t

三波長蛍光体…………… 約 350t

と推定される。

蛍光体消費量は 1980 年代から殆ど変化しておらず、1,000~1,300 トン/年の消費量に留まっている。これは、三波長蛍光体の開発・改良により、蛍光体の小粒子化から蛍光体の塗布量減、並びに蛍光体の高負荷対応から蛍光ランプの細管化・コンパクト化が可能になったためである。今後もこの傾向は進むと考えられる。

3) CRT 用蛍光体

(a) CRT 用蛍光体の年間消費量

表 5.12 にわが国のブラウン管生産本数を示す。この表から CRT 用蛍光体年間消費量は赤色蛍光体、緑色蛍光体、青色蛍光体ともに 250~300 トンとなり、合計約 800 トン/年と推定される。

(b) 使用済み製品の現状とその問題点

<蛍光体の廃棄状況>

1) 蛍光体製造工場から

赤色蛍光体は高価であるため殆ど廃棄されず、再生または原料回収されている。緑色蛍光体と青色蛍光体については廃棄物の一部は原料回収され、回収出来ないものは産業廃棄物として埋め立て廃棄される。

2) ブラウン管製造工場から

赤色蛍光体は物理・化学再生により殆ど再生されて再利用されている。緑色蛍光体と青色蛍光体は TV、ディスプレイの使用用途、再生・廃棄率が工場によって異なるため、再生品の使用比率は赤色蛍光体より少ない。

3) 廃棄ブラウン管から

蛍光体の再生は全く行われていない。

4) 主要蛍光体と構成原料

表 5.13 にランプ用主要蛍光体の種類と構成材料を示す。主要蛍光体の構成原料の関係法規として、 Sb_2O_3 に毒劇物取締法、第 2 条別表第 2 劇物、 $MnCO_3$ に労働安全衛生法、施行令別表第 3、特定化学物質(第 2 類)、 $BaCO_3$ に毒劇物取締法、第 2 条別表第 2 劇物等が適用されるが蛍光体そのものは構成物質の固溶体とみなされ、これらの法的適用はない。

5) 希土類材料

蛍光体原料として今後もその使用量の増加が予想される希土類材料について述べる。希土類元素とは原子番号 57 番のランタン(La)から 71 番のルテチウム(Lu)までの 15 元素にスカンジウム(Sc)とイットリウム(Y)を加えた 17 個の元素群を指

し、かつては希土類と呼ばれ極めて稀少であると考えられていたが、実際は希土類元素中で最も少ないツリウム (Tm) でも銀よりも多く、この誤解は元素群の発見の遅れと個々の元素の分離作業が極めて困難であったため生じたものである。

図 5.16 に植物中と土壌中における各元素の平均含量比率を示す。その中で、希土類元素の比率は非常に小さく、また、各希土類元素の相対比率はイオン半径や電荷と関係している。表 5.14 には蛍光体原料として使用されている希土類元素の天然含量を示している。

表 5.15 に希土類元素酸化物の LD50 を示した。図 5.17 には、硝酸ユーロピウムの細かい粉塵をラットと人間が同様に吸入し、両者の尿中および尿中に排泄される Eu 量を測定した結果を示す。ラットについては肺、肝、骨中の Eu 量の測定も行っている。人間は 10 日間で実験を打ち切り、ラットは約 1ヶ月続けた。筆者はラットと人間の希土類の代謝は類似しており、実験後も人間の肺中にしばらくの間 Eu が沈着、残留していたと推測している。

6) 蛍光体開発・改良による蛍光ランプの省エネルギー・省資源化の推移

(a) 省エネルギー化

表 5.16 に示すように、ハロリン酸カルシウム蛍光体が本格的照明ランプ用蛍光体として用いられた 1960 年代から現在までの 30 数年の間に三波長蛍光体の開発、あるいは点灯方式の改良等により蛍光ランプの効率は実に 50%以上の向上が図られた。

(b) 省資源化

蛍光体の粒子径・形状、粒度分布、組成の均一化による効率及び光束維持率の向上、さらに蛍光ランプへの封入ガスの最適化等の総合的技術開発により、蛍光ランプの性能低下を伴うことなく蛍光体の塗布量低減が可能になり、省資源化が図られた。また、三波長形蛍光体の開発によって、小粒径蛍光体の光束低下および短波長紫外放射によるカラーセンター生成等の欠点を改良し、これが蛍光ランプの小型・軽量化に貢献し、電球代替も進んでいる。

図 5.18, 図 5.19 は、それぞれハロリン酸カルシウム蛍光体と三波長蛍光体を塗布した蛍光ランプの、小型・軽量化に伴う蛍光ランプ用部材の使用量の減少を表したものである。ガラス材料で約 40%、蛍光体材料はハロリン酸カルシウム蛍光体で約 40%、三波長蛍光体で約 50%以上の重量減となり、省資源化に貢献している。

今後、蛍光ランプの細管化・コンパクト化により使用器具の小型・軽量化、並びに白熱電球代替等によりさらなる省エネルギー化・省資源化が成されることが期待できる。

7) 蛍光体技術開発の動向

環境保全の観点からみた蛍光体に関する技術開発は、大別して次の 2つの方向から検討が進められている。

- 1) 蛍光ランプにおける必要水銀量の削減
- 2) 更なる省資源、省エネルギー蛍光ランプの実現

ここでは、上記 1)、2) について今後の技術開発の進展が期待される取り組みの状況を概説する。

(a) 必要水銀量削減のための技術開発

環境保全の観点から、蛍光ランプに使用されている水銀封入量は可能な限り削減する必要があることは異論の無いところである。前章でも述べられているように、蛍光ランプの効率低下を伴うことなく水銀に代わり得る無害物質は現在のところ見い出されていない。キセノン封入による無水銀誘電体バリア放電を利用した蛍光ランプの研究が進められているが、そのランプ効率は通常の蛍光ランプの 1/2 以下のレベルであり一般照明に用いるには更なる検討が必要である。

従って水銀を置き換えることではなく、その使用量を削減することが目下の課題である。こうした状況の中で、蛍光ランプにおける必要水銀量削減のため種々の検討がなされている。蛍光ランプにおける必要水銀量削減のためには、蛍光ランプの寿命中における水銀消費のメカニズムを解明して蛍光ランプに必要な最小限の水銀量を決定すると共に、その水銀量を正確に蛍光ランプ中に封入するため水銀の定量封入技術を確立する必要がある。近年、カタホレシス現象を応用し蛍光ランプの寿命中の水銀量を非破壊で測定する技術が開発され、上記水銀消費のメカニズム解析に有効な手法となっている^{169, 170)}。一方、水銀の定量封入には従来の水銀ドロッパー法に加えガラスカプセルや金属カプセルに予め定量の水銀を封入したものを使用する方法、水銀アマルガムを使用する方法などの改良が検討されている。

水銀消費の要因としては、蛍光ランプの管内壁に塗布されている蛍光体表面あるいはガラス表面への水銀の物理吸着が原因となった水銀の固定化、電極物質との反応による水銀の固定化およびガラス内部への水銀の侵入等が考えられる¹⁷¹⁾。

蛍光ランプの寿命中の光束維持率改善のため、蛍光体層とガラス管内壁の間にアルミナ、セリア、イットリア等の酸化物微粒子で構成される保護膜を形成することが知られており、この保護膜には蛍光ランプの寿命中における水銀消費量削減の効果もあることが報告されている¹⁷²⁾。これまで、水銀消費量削減を目的とした研究は少なかったが、近年蛍光体の表面電位が水銀の吸着に影響し、その帯電傾向が負になる程蛍光体に吸着される水銀量も多くなることが報告された¹⁷³⁾。また、神谷は光源用新素材の研究動向をレビューした中で今後低水銀消費蛍光体の開発が重要になると述べている¹⁷⁴⁾。

その後、環境保全の観点から活発に蛍光体の表面処理技術開発が進められており、蛍光体の粒子表面に特定の酸化物微粒子を付着させることによる水銀消費量削減の取り組みがなされている¹⁷⁵⁾。また、蛍光体層の表面および粒子間に YAG:Ce や酸化イットリウム¹⁷⁶⁾の微粒子をコーティングする方法が提案されている^{176, 177)}。さらに、従来とは異なる蛍光体の製造法や蛍光体粒子の表面処理が種々提案されている。例えば、熱プラズマ熔融法¹⁷⁸⁾、イオン打ち込み法¹⁷⁹⁾、レーザー熔融法¹⁸⁰⁾、ゾルゲル水熱合成法¹⁸¹⁾、マイクロ波加熱合成法¹⁸²⁾、燃焼

合成法¹⁸³⁾、均質沈殿¹⁷⁴⁾による表面処理法などである。

これらの技術開発の中から、蛍光ランプにおける必要水銀削減に寄与する蛍光体の製造法あるいは表面処理法が生み出されることが期待される。

(b) 更なる省資源、省エネルギー蛍光ランプ実現のための新蛍光体開発

蛍光体の発光効率向上への取り組みは第3章でも述べたように、ハロリン酸カルシウム蛍光体の時代から地道な努力が続けられている。その技術開発の内容は蛍光体原料の選定と純度レベルの確認、焼成炉の形態と焼成温度、焼成時間、焼成雰囲気との制御と焼成助剤の選定および焼成容器と焼成原料の充填方法など製造技術に関するものと、焼成後の粒子形状の制御、粒度分布の調整、蛍光体表面処理など蛍光体粉体制御技術に関するものなど幅広い検討が含まれている。

さらに、蛍光体に要求される最も重要な特性は蛍光ランプに用いられた状態で十分にその性能を発揮することであり、蛍光ランプの進歩(細管化、電子点灯回路の採用、コンパクト化など)に応じた蛍光体塗布技術の改良が同時に進められてきた。このような一般的な技術開発とは別に、以前から、希土類フッ化物を母体結晶としその粒子表面をアルミナコーティングした2光子カスケード蛍光体が提案されている¹⁸⁴⁾。この蛍光体の実現できれば、その発光効率は従来の蛍光体の2倍に達することが期待され米国の蛍光体研究プロジェクトの中で研究開発が進められている。また、ナノ結晶では発光中心の振動子強度が通常のものより5桁も増強されることが報告され注目を集めている¹⁸⁵⁾。ナノ結晶蛍光体の発光効率は通常の蛍光体とほぼ同じレベルと報告されており、ナノ結晶蛍光体で現用の蛍光体を置き換えることが出来れば、発光中心の最適濃度が低下することにより希土類付活蛍光体においては大幅なコスト低減が可能となる。

これらの蛍光体为新蛍光体、あるいは次世代の蛍光体となるには、なお多くの解決すべき技術課題が残っているが今後の研究成果に期待するところは大きい。

5.4.3 はんだ

鉛と錫の合金であるはんだは、低い温度で接合金属の表面に合金層を作り、接合される金属と容易に一体化できる性質から、機械的接合や電気的接合に広く使用されており、照明システムに於いても、管球の口金接合や電気電子回路の接合に不可欠の材料である。ところが近年、廃棄された電子機器に雨水、特に酸性雨が当たり、はんだから鉛が溶け出し、土壌や地下水を汚染する鉛の害が問題視されるようになってきた^{186, 187)}。そこで環境保全の視点から、有害な鉛の使用量を減らす検討が進められているが、未だはんだに代替する汎用性のある実用的な新規合金や接合方法は得られていないのが現状である。

この鉛の問題は今後の照明システムにおける重要な環境課題としてクローズアップされて来ると考えられることから、照明システムに係わるはんだの問題について現状をまとめる。

1) はんだの一般的特性

はんだは金属の接合に使用する鉛錫系合金を指す一般名称として定着しているが、このはんだの名称は明治になってから使用された商品名であって、命名者およびその語源は定かでない¹⁸⁸⁾。現在、はんだは 450°C 未満の低い溶融点のろう付け用合金の総称であり、日本工業規格 Z3282「はんだ (Soft Solder)」には、表 5.17 に示すごとく、錫-鉛 (鉛-錫) の他に錫-アンチモン、錫-銀、錫-ビスマス、鉛-銀、錫-鉛-銀、錫-鉛-ビスマスの合金が規定されている。しかし、錫-鉛 (鉛-錫) 系以外は何れも特殊用途であり、依然としてはんだの主体は鉛と錫を含む合金である。

その理由は、錫は広範囲の被接合金属と金属間化合物を形成して強固な冶金学的結合による接合層を作り、また鉛はこの接合反応にはほとんど寄与していないが、錫に加えることにより溶融温度やぬれ特性、さらには機械的強度などのはんだ物性を大きく改善する優れた働きをするためである。点灯回路の章で記載されている鉛を含まないはんだ「鉛フリーはんだ」開発の困難さは、この鉛の優れた働きを代替する金属が得られないことにある。以下、鉛の働きから見たはんだの一般的性質を示す。

(a) 溶融温度を調整する

鉛と錫は任意の配合比で混ぜ合わせることが可能であり、図 5.20 に示すごとく、配合比によって様々な溶融温度の合金を作ることができ、ほぼ全組成の合金が用途に応じて使い分けられている。照明システムにおいて、高温環境で使用される電球口金の接合には鉛が多い高温はんだが、そして電気電子機器の配線や耐熱性の低い電子部品の接合には共晶点近傍 (錫 63 重量%-鉛 37 重量%) の低い溶融温度のはんだが主に使用されている。

(b) 機械的強度を増加する

金属は合金化することによって硬くなり、機械的強度が増加する傾向がある。鉛と錫の合金であるはんだについてもこのことが言え、図 5.21¹⁸⁹⁾ および図 5.22¹⁹⁰⁾ に示すごとく、鉛単体、錫単体の値に比べて硬さ、機械的強度は共に増加する。この理由は凝固の過程において、はんだの中に鉛錫のシダ葉状結晶や微細な共晶が発生して金属原子間の滑りを妨げるためと考えられている。電球口金アイレット部のはんだのごとく、高い温度で、且つ常に力が加わった状態で使用される用途では、この機械的強度が重要視される。

(c) 広がり特性を向上する

はんだ付け温度、一般には溶融温度より約 50°C 高い温度に加熱した銅板の上に一定量のはんだを落下させて、広がったはんだの面積を測定する実用的な評価試験において、図 5.23¹⁹¹⁾ に示すごとく、はんだは鉛単体、錫単体の値に比べて広がり特性が向上する。小型部品を高密度実装する電子回路基板の用途では、この広がり特性が重要視される。

2) 照明システムにおけるはんだの用途

照明システムで使用されているはんだを用途で分類すれば、電球口金の接合に使用する鉛が 80 重量%以上含まれている高温はんだ (溶融温度 270°C 以上) と電気電

子機器の配線などに使用する鉛が35重量%~55重量%含まれている電気電子用はんだ(溶融温度 183°C ~ 200°C)に大別できる。以下、用途毎のはんだの使用状況とその用途におけるはんだへの要求特性について示す。

(a) ランプ口金の接合

現在、口金の接合にはんだを使用している照明用電球(放電ランプを含む)は、白熱電球、電球形蛍光ランプ、低圧ナトリウムランプおよびHIDランプに属する水銀ランプ、安定器内蔵水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプである。その他に予熱形けい光ランプ始動用のE形グロースタータの口金にもはんだが使用されている。種類毎のはんだ使用量は、白熱電球 $0.2\sim 0.3\text{g}$ 、電球形蛍光ランプ $0.6\sim 0.8\text{g}$ 、低圧ナトリウムランプ $0.6\sim 0.7\text{g}$ 、HIDランプ $0.6\sim 1.0\text{g}$ 、E形グロースタータ $0.1\sim 0.2\text{g}$ である。ただし電球形蛍光ランプでは、これ以外に電子回路にはんだが使用されている。

(i) 白熱電球

口金のアイレット部とシェル部にはんだを使用している。構造は図5.24¹⁹²⁾に示す。アイレット部は、黄銅製のアイレットと銅系合金製の外部導入線の接合および電気接点形成を兼ねた肉盛りはんだ付けを行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の粘りが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。近年、国外製品の中には錫を用いてはんだ付けしたものもある。

またシェル部は、黄銅製もしくはアルミニウム製のシェルと銅系合金製の外部導入線の接合にはんだ付けを行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の流れが必要であり、更にアルミニウム製シェルに使用するはんだは異種金属の接触によって起こる電解腐食の防止を考慮する必要がある。共に、鉛錫系の高温はんだが使用されている。近年、スポット溶接技術の向上により、シェルと外部導入線を直接溶接した製品が徐々に増えてきている。

(ii) 低圧ナトリウムランプ

ランプの方向を一定に保つためにバヨネット形口金が採用されており、このアイレット部に、外部導入線の接合および電気接点形成を兼ねた肉盛りはんだ付けを行っている。構造は図5.25¹⁹³⁾に示す。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の粘りが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。

(iii) HID ランプ

ねじ込み式口金を採用している高圧水銀ランプ、安定器内蔵水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプは、口金のアイレット部とシェル部にはんだを使用している。いずれのランプも口金部分は同じ構造であり、代表して水銀ランプの構造を図5.26¹⁹⁴⁾に示す。アイレット部は、黄銅製のアイレットと銅系合金製の外部導入線の接合および電気接点形成を兼ねた肉盛りはんだ付けを行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の粘りが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。ただ

し、アイレット部の電気絶縁物に耐熱性の磁器を使用している製品では、プラズマ溶接を用いアイレットと外部導入線の接合および電気接点形成を行っている。またシェル部は、ニッケルメッキを施した黄銅製のシェルと銅系合金製の外部導入線の接合にはんだ付けを行っている。そして口金の固定にメカニカル接着方式を採用している製品では、外管ガラスに設けた窪みにはんだを流し入れて、口金の固定も合わせて行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の粘りが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。

(iv) E形グロースタータ

口金のアイレット部とシェル部にはんだを使用している。構造は図 5.27¹⁹⁵⁾ に示す。アイレット部は、黄銅製のアイレットと銅系合金製の外部導入線の接合および電気接点形成を兼ねた肉盛りはんだ付けを行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の粘りが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。またシェル部は、黄銅製のシェルと銅系合金製の外部導入線の接合にはんだ付けを行っている。この用途のはんだは耐熱性と共に適度の流れが必要であり、鉛錫系の高温はんだが使用されている。

(b) 電気電子機器の配線

電子回路部品の接合および、電気部品の配線にはんだを使用している。最近の照明器具内の電気配線は機械的接続に代わりつつあるが、作業性の簡便さと接合の信頼性の高さから、はんだ付けが必要な箇所は依然として残っている。

(i) 電子回路部品の接合

蛍光ランプと低ワット HID ランプ用の高周波点灯回路(インバータ)の電子部品接合と電気回路の形成にはんだを使用している。フェノール樹脂またはエポキシ樹脂製のプリント基板上に、電子部品を配置し、噴流式はんだ付け装置などを用いてはんだ付けを行なっている。この用途のはんだは、はんだ付け時の熱から電子部品を守る必要があり、錫鉛系の熔融温度の低い共晶はんだ(錫 63 重量%—鉛 37 重量%)が主に使用されている。また、このはんだ中には銀、ビスマスなど、はんだの特性を高めるための金属元素が少量含まれている。

(ii) 電気配線の接合

上記の高周波点灯回路の他、従来型のインダクタンス形安定器内部の配線や照明器具内の配線にはんだを使用している。この用途のはんだは、はんだ付け作業に必要な適度の半熔融状態を示す錫 60 重量%—鉛 40 重量%の継線用はんだ、安定器巻線の絶縁被覆熱剥離を行うための鉛 96 重量%—錫 4 重量%の高温はんだが使用されている。また電線および電子部品リードの先端部分には、はんだ付け性を良くするために予備はんだ付け処理が行われる場合もある。この用途のはんだには錫 50 重量%—鉛 50 重量%のはんだが使用されている。

3) 有害性

はんだの有害性は鉛によるものである。従来、はんだに係わる鉛の有害性は、はんだ付け作業従事者の鉛ヒュームへの暴露対策を主に労働衛生の問題として捉えられていた。しかし近年になって、廃棄された電子機器のはんだが雨水により溶けだし、土壌や地下水を汚染する鉛の害が指摘されるようになってきた。このことは、食物や飲料水を通して、一般の人々の鉛摂取量増加を意味し、公衆衛生に係わる問題に発展する可能性がある。

(a) 鉛の人体影響

主に食物を通して1日当たり0.33mgの鉛を摂取し、ほぼ同量の鉛を糞便や尿から排泄して体内の鉛の量のバランスを保っているが、摂取量が0.5mgを越えると骨組織に沈着し、さらに血液中に遊離してヘモグロビン合成阻害(貧血)、消化器及び中枢神経に対して毒性を現すようになる¹⁹⁶⁾。鉛の人体影響は、血中の鉛量が40 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 全血を越えると代謝異常が現れ、50 $\mu\text{g}\sim 100\mu\text{g}/100\text{g}$ 全血では赤血球寿命の短縮等の代謝機能障害が発生し、80 μg 以上/100g全血では腎臓や中枢神経に傷害が発生する。鉛の吸収量(吸収指数)と生体影響には、表5.18¹⁹⁷⁾に示すレベルIの「生体影響見いだされず」から、レベルVの「慢性中毒」までの量-反応関係が調べられており、健康診断の基準に用いられている。ここで注意すべきは、代謝機能の指標である赤血球中の δ -アミノレブリン酸脱水酵素(ALA-D)活性低下が極めて低い血中鉛濃度でも起こっていることであり、図5.28¹⁹⁸⁾に示すごとく、血中鉛濃度と酵素活性値の間に逆比例の関係が認められている。このことは、血液中の鉛の基となる食物、水、空気からの鉛の摂取量を低く押さえる必要性の根拠である。

(b) 生物圏における鉛の循環

鉛は用途の広い物質であり、多量に使用されてきた結果、自然界に次第に蓄積してゆく傾向にある。図5.29¹⁹⁹⁾は、永久的に凍結している北グリーンランド内陸部の年代別氷層(降雪層)中の鉛濃度の増加を示すデータであり、紀元前800年では0.0005 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下であるが、産業革命の始まった1750年から増加が顕著になり、さらに1940年以降に急激な上昇が起こり、1965年には0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上と、実に400倍を越える鉛濃度の増加を示している。また図5.30²⁰⁰⁾に示す地域毎の海表水中鉛濃度も人為的影響を強く受けていることを示している。

環境中への鉛の発生源は鉛の精錬、鉛または鉛化合物を取り扱う各種工業、化石燃料の燃焼、自動車の排気ガスなどが主なものである。現在、先進諸国では効率の良い除害装置や鉛含有ガソリンの使用制限によって大気中への排出は少なくなっている²⁰¹⁾。しかし東ヨーロッパや南米、アフリカ、アジア等では鉛含有ガソリンの使用は制限はされておらず、アルキル鉛の生産高は世界的にみると依然として増加しつつある²⁰²⁾。

生物圏における鉛の循環は、図5.31²⁰³⁾に示すごとくである。鉛は自然界において、硫化物、炭酸塩、水酸化物やアミン等の有機物と安定な錯化合物を形成し不溶化するため、次第に蓄積を起し、地域的濃度の差は著しい。現在自然界における鉛の濃度は、土壌で平均16 $\mu\text{g}/\text{g}$ 、河川水や湖水で1~10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、海水で0.02~0.44 $\mu\text{g}/\text{l}$ と報告されている²⁰⁴⁾。

動植物の生理に及ぼす鉛の影響の詳細は明らかでないが、環境中の鉛濃度が高くなると植物や動物の体内に鉛が蓄積し、その生理に影響が現れることは確かである。植物では、根の生育や葉や花の形成が遅れ、特に生育中の根の分裂期の核は鉛を取り入れやすく細胞壁および核内に鉛が濃縮される²⁰⁵⁾。動物では、一般的に下等な動物は高等動物より鉛の害は少ないようである。水中の鉛濃度が $100\mu\text{g}/\text{l}$ 以上になると、貯水池における生物学的手段による水の自浄作用が妨害され²⁰⁶⁾、魚類についても $100\sim 400\mu\text{g}/\text{l}$ の鉛濃度が最低有害濃度と考えられている²⁰⁷⁾。草食性陸上動物の牛では毎日 $5\sim 6\text{mg}/\text{kg}$ 体重の鉛を2年間与えても臨床的には影響がみられないが、この投与量をさらに長く続けると致命的になり得るとされている²⁰⁸⁾。その他、動物における鉛中毒の事例では、鉛工場から排出されたダストやフュームの付着した牧草や飼料が原因の家畜の鉛中毒²⁰⁹⁾、狩猟用鉛散弾を飲み込んだ水鳥の鉛中毒²¹⁰⁾などが報告されている。

また、ヒトの鉛の摂取は主に食物、水を通して行われる。表5.19²¹¹⁾に示す寺岡らの食品中鉛分析値では、海草類 $200\mu\text{g}/\text{kg}$ 、魚介類 $200\mu\text{g}/\text{kg}$ 、また日本人の主食である穀類の鉛濃度は、精白米 $70\mu\text{g}/\text{kg}$ 、小麦粉 $160\mu\text{g}/\text{kg}$ 、野菜類 $50\sim 2300\mu\text{g}/\text{kg}$ と報告されている。堀口ら²¹²⁾は、1980年代の日本人の食品からの鉛摂取量推定値は $70\sim 170\mu\text{g}/\text{日}$ 、1950年代と比べて大きな差は認められなかったと報告している。

鉛に着目した食物連鎖の詳細は明らかでないが、海水中の鉛濃度 $0.02\sim 0.44\mu\text{g}/\text{l}$ と比べると、魚介類では鉛の濃縮が起こっていることが理解される。また植物が吸収する鉛は、土壌中に $0.05\sim 5\mu\text{g}/\text{g}$ 含まれている可溶化した鉛²¹³⁾であり、土壌中の平均的鉛量 $16\mu\text{g}/\text{g}$ の $1/\text{数}\sim 1/\text{数百}$ に相当する。化学肥料の使用や酸性雨の影響で酸性化していく土壌では、可溶性鉛の量が増え、植物は土壌からより多くの鉛を吸収し蓄積する方向にある。食物連鎖の頂点に位置する人類は、自然界における物質の循環を熟知し、自らの健康と共に他の動植物の生態にも配慮する必要がある。

4) 照明システムにおける鉛削減の動向

はんだには鉛が含まれており、鉛は人体にとって有害性を示すことから、はんだを製造もしくは使用する事業所では、労働衛生に係わる設備基準²¹⁴⁾や作業環境基準²¹⁵⁾の遵守と共に、土壌汚染²¹⁶⁾、大気汚染²¹⁷⁾、水質汚濁²¹⁸⁾、産業廃棄物²¹⁹⁾等の環境対策が行われている。しかし、使用済みとなったはんだが含まれている照明製品の市場からの回収、リサイクルは、個々の製品中の使用量が少なく、かつ製品の多様性を理由に実施されていない。環境保全のためには廃棄される鉛量削減が必要であり、以下はんだを使用しない接合方法の検討や鉛フリーはんだの開発状況を中心に、照明システムにおける鉛削減の実施状況と動向を示す。

(a) ランプ口金

直管形と環形の蛍光ランプ口金配線は機械的な接続方法に転換が終了し、またハロゲンランプ口金はスポット溶接またはろう付けを使用しており、共に脱鉛化が達成されている。しかし、口金の電気絶縁材料に樹脂を使用している低圧ナトリウムランプやねじ込み式口金を採用している白熱電球、コンパクト形

蛍光ランプ、HID ランプ等にははんだが使用されている。現在これらの口金からも徐々に脱鉛化が進められている。

(i) アイレット部

アイレットは外部導入線の接合と電気接点の役目を持つ、黄銅製の金属部品である。白熱電球、低圧ナトリウムランプ、低ワット HID ランプ、E 形グロースタータのこの箇所にはんだを使用している理由は、アイレットの電気絶縁材料に熱衝撃性に弱い軟質ガラスや樹脂を用いているためである。これらの材質は、はんだ付けの作業温度(約 350°C)と作業時間(数秒)を想定して作られているので、この条件を越えると、割れたり、変色する恐れがある。現行の絶縁材料を変えないとすれば、この箇所の接合に鉛フリーはんだを検討する必要がある。ここで必要な鉛フリーはんだは、使用温度での機械的強度の低下を考慮して、熔融温度が 250~300°C の範囲が望ましい。しかし、公表されている 2 元系および 3 元系の合金状態図からは、この熔融温度を示す実用的な合金組成は見出せない。現時点では、錫(熔融温度 232°C)に少量のビスマスを加えた合金が候補として考えられているが、錫特有の α 錫への転移を含む接合の信頼性、はんだ付けの作業性の問題が今後の検討課題となっている。

一方、アイレット絶縁材料に磁器を用いている高ワット HID ランプでは、プラズマ溶接による接合に転換している。この転換の経緯は、作業性と接合の信頼性向上を求めた結果であるが、鉛削減の方向に合致した技術と言える。

(ii) シェル部

ランプの口金接続の作業は、ガラス球の封止部に口金を固定後、ガラス球とシェルの間から取り出した外部導入線をシェルに接合する。はんだは外部導入線とシェルの接合に使用されている。また、メカニカル接着方式の口金では、外部導入線とシェルの接合の他に口金固定の役目もはたしている。

近年、白熱電球の中に、外部導入線と黄銅製、アルミニウム製のシェルの接合をスポット溶接で行っている製品が出ている。このスポット溶接は高度の技術であり普及までに暫くの期間を必要とするであろうが、近い将来、口金の固定にセメント接着方式を採用している電球はスポット溶接に転換していくと思われる。

しかし HID ランプ等の口金温度の高い長寿命のランプに採用されているメカニカル接着方式では、ガラス球の封止部に作られた窪みを利用して口金の固定を行っているため、この接続方式固有の口金固定方法の問題と合わせて対応しなければならない。現時点において、(ア) 現行のメカニカル方式の構造はそのまま用いて、外部導入線とシェルの接合にはスポット溶接を使用し、口金の固定に鉛レスはんだを使用する (イ) スポット溶接のみで、接合と口金固定の機能を持つ新たな口金接着方式を採用する等の対策が考えられるが、今後の検討課題である。

(b) 照明器具と点灯回路

照明器具内の電気配線の接続は機械的接続方式が主流となっており、はんだは徐々に使われなくなってきた。また照明器具に内蔵される小型の乾式安定器も機械的接続に代わってきた。しかし、高周波点灯回路(インバータ)や調光装置等の電子回路にはんだが使用されている。この用途の接合にはんだが必要であり、脱鉛化のため、電子機器用の共晶はんだを代替する鉛フリーはんだの開発が積極的に行われている。

(i) 照明器具

照明器具内の電気配線は、器具製造の自動化と組立作業の容易化のため機械的接続方式が主に採用されている。そのため、電子部品を組み込んでいない白熱電球や HID 用の照明器具では、はんだは使用していない。また小型の乾式安定器も機械的接続方式が採用されており、このタイプの安定器を使用している蛍光灯用の照明器具も、はんだの使用はわずかにコンデンサのリード線に施したはんだメッキの箇所のみとなっている。電気配線の分野では機械的接続は確立された汎用技術であり、未だにはんだを使用している少量生産の製品も、機械的接続方式に転換していくと予測される。

(ii) 点灯回路

ランプ点灯回路は第3章の表3.20「ランプごとの使用回路一覧」に示されているごとく多様であるが、大別すると従来型のインダクタンス形安定器(チョークコイル)と電子回路技術を用いた電子安定器(インバータ)である。

インダクタンス形安定器は鉄心、銅線、コンデンサから構成されており、これらの接続にはんだが使用されている。しかし小型の乾式安定器はスポット溶接や機械的接続に転換しており、大きな電流が流れる中高容量の安定器でもはんだ付けから、スポット溶接へと代わりつつある。ただ、銅線の酸化等によって接触抵抗上昇の恐れのある箇所には、スポット溶接や機械的接続とはんだ付けの併用が避けられず、錫60重量%-鉛40重量%の継線用はんだや鉛の含有率の高い高温はんだが使用されている。これらの箇所は接合時の加熱によって影響を受けることが少なく、接合箇所も独立しているため、使用するはんだの仕様はゆるやかである。このため鉛フリーはんだの選択の幅も広く、比較的早い時期に鉛フリーはんだへの切り替えが進むと予測できる。

近年、急速に蛍光灯や HID ランプに使用されて来た電子安定器は、フェノール樹脂またはエポキシ樹脂のプリント基板上に作られた電子回路²²⁰⁾である。ここで使用されているはんだは、耐熱性の低い電子部品を実装するために、錫鉛系の熔融温度の低い共晶はんだ(錫63重量%-鉛37重量%)であり、他の電子機器のボード等において使用されているものと同じである。現在、電子機器用の共晶はんだに代替可能な鉛フリーはんだが積極的に研究されており、電子安定器の鉛フリーはんだへの転換は、

基板への実装密度が同程度の一般家電とほぼ同時期に達成されると考えられる。

現時点において、鉛フリーはんだの候補は錫銀系合金および錫亜鉛系合金である。錫銀系では、錫 96.5 重量%—銀 3.5 重量%の熔融温度 221°C の共晶組成、また錫亜鉛系では、錫 91 重量%—亜鉛 9 重量%の熔融温度 198°C の共晶組成であり、共に鉛フリーはんだの母合金として用いることが可能である。しかし錫鉛系の共晶はんだの特性に近づけるためには、第5章の表 5.8「Pb レス技術の性能比較」に示されているごとく、更にビスマス等の第3番目の元素を添加する必要があるとされている²²¹⁾。一般的に多元系合金では組成の調整が難しく、また熔融状態から凝固する過程も複雑であり、使用中にはんだ槽内に次第に蓄積してくる銅やニッケル等の不純物の影響をも考慮する必要がある。さらに、錫亜鉛系では酸化され易いので、空気中ではんだ付けするためには特殊な有機系フラックスと組み合わせて使用するか、もしくは窒素炉を使用することになる。この様な鉛フリーはんだ槽を長期間に渡って安定に管理するには高度の生産技術が必要であり、また上記の問題の他、使用時における長時間のヒートサイクルによる疲労破壊(割れ)や接合箇所の金属浸食、マイグレーションなど極めて広範囲なはんだ付け接合の信頼性確認等の品質上の問題もこれからの課題である。

5.4.4 その他の材料

1) ガラス

照明用ランプに使用されている材料の大部分はガラスである。図 5.32 に例として蛍光ランプの材料の重量比を示す。ガラスは電極に分類した部分のステム用ガラスを含めると 92~94%である。

ガラスの種類としては、一般形蛍光ランプ、電球ではソーダライムガラスが使用されており、HID ランプ、ハロゲン電球では石英ガラスが使用されている。また、自動車ヘッドランプ、クリプトン電球、HID ランプの外管には硬質ガラスが使われている。

これらのガラスはいわゆる電気硝子と言われ、ブラウン管バルブが中心の電子用ガラスと照明用ガラスに分けられる。電気硝子の総生産量は年間約 100 万トンでブラウン管用が 85%で照明用は約 7%である。照明用ガラスの大部分は蛍光ランプ、電球に使用されるソーダライムガラスで、その成分の例を表 5.20 に示す。

このガラスは基本的に窓ガラスに近い成分で有害な成分は含まれていない。しかし、ランプのステムと呼ばれる部分には電気を供給する導入線との密着性を確保するため鉛を含むガラスが使用されている。この部分を鉛レスにするのは困難であるが、鉛の比率を減らす努力が続けられている。なお、鉛ガラスはクリスタルガラス、食器、ブラウン管、光学ガラスとして使用されており、各々鉛の低減が検討されている。

また、石英ガラスはほとんど純粋な酸化珪素 (SiO_2) で、硬質ガラスも表 5.20 の例に示すように問題になる成分は無い。

以上、ガラスは一部(鉛ガラス)を除いて環境上問題になるものは無いが、再資源化が検討されている。製造工程で発生する不良品や破片はランプ用として再使用されているが、使用済みランプのガラスを再使用するのには、ガラスの劣化が大きいいため困難である。そのため用途は再溶融して別の分野で使用するようになる。この際問題になるのは不純物で蛍光体、水銀、その他保護膜や導電膜に使用している金属酸化物の除去で、その方法の検討が進められている。しかし、もっとも大きい問題は経済性で、広い範囲で発生する使用済みランプをいかに収集し分別するかで、水銀問題を含めて検討する必要がある。

2) 金属類

ランプに使用されている水銀以外の金属は図 5.32 の電極の導入線、口金に使用されている銅、Ni、鉄、タングステン、アルミニウムなどである。タングステン以外の金属は他の製品で使用されている量に比べられると極僅かである。タングステンは有害な材料ではないが資源的に少ない材料で、国内総生産量は 1995 年で約 431 トンで、主としてランプのコイル、電極に使用されている細線の生産量は約 11 トンである。リサイクルを検討すべきであるがランプ一個に使用する量が少ないためかなり困難である。

参 考 文 献

- 1) 浦滝悦夫：照明学会関西支部専門講習会資料、1995 年 11 月、35 頁～41 頁
- 2) Zhivechkova, L.A., et al. : Thermodynamics of regenerative cycles in tungusutenthalogen lamps, *Light & Engineering* 3-1, pp.73-79 (1995)
- 3) 川勝 晃：多層干渉膜の電球への応用、照明学会光の発生・関連システム研究専門部会研究会資料 LS-94-21
- 4) 特開平 7-140323
- 5) 特開平 7-153435
- 6) 高坂ほか：光源用薄膜材料、照明学会光関連材料・デバイス研究会資料「光源材料－表面その他の物性」、MD-89-25～29
- 7) 弓削ほか：光源用赤外反射膜材料、照明学会誌、第 74 巻、9 号、1990 年、584 頁～588 頁
- 8) Hebbinghaus et al. : High quality infrared reflecting filters on lamps prepared by dip coating, *Proc. of 6th Int. Symp. Sci. & Tech. Light Sources*, pp.205～pp.206 (1992)
- 9) 鎌田博士：Ta₂O₅-TiO₂複合膜による赤外反射膜への応用、平成 7 年度照明学会 第 25 回東京支部大会、22 頁

- 10) Bergman, R.S.: Applications of thin film reflecting coating technology to lamps, Proc. of 6th Int. Symp. Sci. & Tech. Light Sources, pp.173~pp.190 (1992)
- 11) 川勝ほか：多層干渉膜のハロゲン電球への応用、平成6年度照明学会全国大会予稿集、372頁~373頁
- 12) 川勝 晃：多層干渉膜の電球への応用、照明学会光の発生・関連システム研究専門部会「最近の白熱電球システムの動向」、LS-94-21、1994年
- 13) 鎌田ほか：異形バルブへの多層干渉膜コーティング技術の開発、平成7年度照明学会全国大会予稿集、49頁
- 14) 浦滝悦夫：新しい赤外反射膜について、照明学会：光の発生・関連システム研究専門部会 LS-94-22、1994年、37頁~42頁
- 15) 浦滝悦夫：一般電球、ハロゲン電球の最近の高効率化(省電力化)技術、照明学会関西支部講習会資料、1995年11月、35頁~41頁
- 16) 特開平 6-290759
- 17) 特開平 7-21996
- 18) 特開平 6-338303
- 19) 特開平 6-290760
- 20) 特開平 7-45254
- 21) 特開平 8-69779
- 22) 下垣ほか：赤外線反射膜付き電球の効率、照明学会誌、第68巻、第2号、1984年、72頁~76頁
- 23) 照明学会：次世代光源システム研究調査委員会報告書「光源システムの技術動向と展望」、1990年、206頁
- 24) Zhivechkova, L.A. ,et al. : Thermodynamics of carbon transport in lamps with a carbon filament, Light & Engineering 1-2, pp.6-10 (1993)
- 25) Waymouth, J.F. : United States Patent, No.5,079,473
- 26) Waymouth, J.F. (東忠利 訳)：次世代光源はどこから来るか?(その2)、照明学会誌、第74巻、第12号、1990年、800頁~805頁
- 27) 杉本勝：白熱電球の超高効率化への試み、照明学会光の発生・関連システム研究専門部会「最近の白熱電球システムの動向」、LS-94-17、1994年

- 28) 杉本ほか：サブミクロン構造による赤外放射抑制白熱発光体の検証、平成6年度照明学会全国大会予稿集、125頁
- 29) M.Sugimoto et al. : The infra-red suppression in incandescent light from submicron holes, Proc. of 7th Int. Symp. Sci. & Tech. Light Sources, pp.271~pp.272 (1995)
- 30) 柴田ほか：赤外放射抑制放射体に関する研究 -規則的方形空洞放射体の作製と分光放射特性-、平成7年度照明学会全国大会講演予稿集、47頁
- 31) International Lighting Review. Jan.1995:Jos de Backer and Bob van Disseldorp
- 32) The 7th International Symposium on the Science & Technology of Lighting Sources:H. P. Stormberg
- 33) 恒川、照明学会誌、79-12、727 (1995)
- 34) 福田、電球工業会報、1996-1、20
- 35) 東方、四宮:照明学会誌、77-5、239、243 (1993)
- 36) 平本:電球工業会報、1997-1、25
- 37) 松原:照明学会誌、74-5、277 (1990)
- 38) 各社カタログより
- 39) 各社カタログより
- 40) 栗津ほか:照学誌 60-1 (1976) 8
- 41) 猪島ほか:第162回蛍光体同学会 (1976)
- 42) 渡辺ほか:第167回蛍光体同学会 (1977)
- 43) 森ほか:東芝レビュー 34-12 (1979) 1080
- 44) 各社カタログより
- 45) 渡辺ほか:照学誌 62-4 (1978) 175
- 46) Tielmans, p.:Light.Res.Technol. 17-2 (1985) 79
- 47) Saito, m. et al:J.Illum.Engng.Soc. 10-3 (1981) 133
- 48) Tielmans, p.:Light.Res.Technol. 17-2 (1985) 79
- 49) Zolweg, R.J. et al:J.Illum.Engng.Soc. 4-4 (1975) 249
- 50) Fohl, T.:J.Illum.Engng.Soc. 4-4 (1975) 265

- 51) 野村ほか:東芝レビュー 22-10 (1967) 1207
- 52) 馬場ほか:昭 53 照学東支大 No.6
- 53) 山崎ほか:昭 60 照学全大 No.32
- 54) 各社カタログより
- 55) LD + A Nov. (1995) 39
- 56) 各社カタログより
- 57) Watanabe, K. et al: J. Illum. Engng. Soc. 13-1 (1984) 94
- 58) 本田ほか:光源システム研究会 LS-82-12 (1982)
- 59) P.A.Seinen:Proceedings of LS:7 107
- 60) 特開平 3-152854
- 61) 特開平 3-152855
- 62) 特開平 5-251056
- 63) 特開平 6-111790
- 64) 実開平 3-57857
- 65) 特開平 6-132018
- 66) Turner, B.P. et al:Proceedings of LS:7 125
- 67) Iwai, I. et al: J. Light Visual Environm. 1-1 (1977) 7
- 68) 池ほか:昭 61 照学全大 No.32
- 69) 佐々木ほか:平 3 照学全大 No.44
- 70) Carleton, K.S. et al: J. Illum. Engng. Soc. 20-1 (1991) 134
- 71) Rutan, D. et al:IESNA Annual Conf.Paper (1994) No.19
- 72) Hans, R.R:LICHT 2 (1994) 123
- 73) 各社カタログより
- 74) 岡村ほか:平 3 照学全大 No.39
- 75) Szekas, Gy.:J.Illum.Engng.Soc. 15-2 (1986) 59
- 76) Itoh, A. et al:Proceedings of LS:6 289

- 77) Ingalls, P. et al:IESNA Annual Conf.Paper (1994) 380
- 78) Itoh, A. et al:Proceedings of 2nd Lux Pacifica (1993) B29
- 79) Ashurkov, S.G.:Light & Engineering 1-2 (1993) 1
- 80) Sarrychev, G.S.:Light & Engineering 1-1 (1993) 1
- 81) Ataev, A.E. et al:Light & Engineering 1-4 (1993) 8
- 82) Geens, R.:IEE Proc.-A 140-6 (1993) 450
- 83) Gur'yanov, I.V. et al:Light & Engineering 1-4 (1993) 5
- 84) 特開昭 51-10682、特開昭 55-59647、特開昭 61-142654、特開昭 63-195944~5、特開平 3-112045
- 85) 特開平 1-132039、特開平 2-30054、特開平 3-49148、特開平 5-225953
- 86) 特公昭 47-16472
- 87) 特開昭 50-96079
- 88) 特開平 3-236151、特開平 4-51497
- 89) 特開平 6-84496
- 90) 特開平 6-111772
- 91) 特開昭 55-10752~65、特開平 5-198283、特開平 7-21980、特開平 7-50152、特開平 8-195186
- 92) 特開平 7-50151
- 93) 特開平 5-242471
- 94) 特開昭 51-97272、特開昭 53-129469
- 95) 特開平 8-250065
- 96) 特開昭 48-3179
- 97) 特開平 6-111791
- 98) 各社カタログより
- 99) 各社カタログより
- 100) DIALOG によるデータベース検索より、出典「On the Beam」,Retail Store Image Nov, 1996

- 101) H.P.Stormberg: "Environmental Aspect of Discharge Lamps", Proc. 7th International Symp. On the Science & Technology of Light Sources, pp327-335, 1995, Kyoto Japan.
- 102) J.M.Chilcott : "Disposal Dilemma", October, pp29-31, 1995, Lighting Design+Application
- 103) Plant Engineering, Feb. 1994
- 104) "Commission Decision-establishing the ecological criteria for the award of the community eco-label to single-ended light bulbs", Dec.15.1995, No.L 302/42, Official Journal of the European Communities
- 105) "A Ecological Criteria for a light bulb to qualify for an eco-label", May.29. 1996, No. L 128/25, Official Journal of the European Communities
- 106) 矢野、「基板材料における環境問題への対策」、サーキットテクノロジー Vol.19 No.6 (1994) P418-421
- 107) 西沢、「最近の難燃規制と難燃材料の需要動向」、Polyfile No.369 (1994.11) P14-19
- 108) 杉山、本田、鈴木、「環境にやさしいプリント配線板材料」、電子材料 (1995.10) P 43-47
- 109) 福岡、「電子機器からはんだの鉛を追放へ」、日経エレクトロニクス no.635 (1995.5. 8号) P91-107
- 110) 竹本、「マイクロソルダリングにおける Pb フリー化の検討」、第一回エレクトロニクスにおける環境技術シンポジウム (1996.7) P81-86
- 111) 浅野、「鉛の環境汚染と鉛フリーはんだ」、第9回回路実装学術講演大会 (1995.3) P 75-76
- 112) 浅野、「鉛フリーはんだの考察 (その1)」、第9回回路実装学術講演大会 (1995.3) P81-82
- 113) 横井、「Pb レスはんだの特性」、プリント回路学会第8回学術講演大会 (1994) P14 5-146
- 114) 青池、松尾、黒川、「放電ランプ用安定器、点灯回路におけるインバータ化技術の動向」、信学技報 PE95-1 (1995.5) P1-10
- 115) 田代、吉川、田原、杉田、「高光束電球形蛍光ランプ用の点灯回路」、平成8年度照明学会全国大会 (1996.4) 予稿 P92
- 116) 「照明器具・製品アセスメントマニュアル」、(社)日本照明器具工業会、(1992.3)

- 117) 「ランプ及び安定器・製品アセスメントマニュアル」、(社)日本電球工業会、(1992.7)
- 118) 「「高効率照明装置」のエネ革税制指定(新規)と証明制度の実施について」、(社)日本照明器具工業会会報 照明、(1994.9) P4-6
- 119) 「省エネ法・特定機器「蛍光灯」の指定と性能の向上に関する製造事業者等の判断基準について」、(社)日本照明器具工業会会報 照明、(1994.9) P3-4
- 120) 「特定建築物の照明設備のエネルギーの効率的利用」、(社)日本照明器具工業会会報照明、(1993.9) P2-5
- 121) 日本化学学会編：水銀、丸善株式会社
- 122) 喜田村 他共著：水銀、講談社
- 123) 国立天文台編：理科年表(1996)、丸善株式会社
- 124) Waymouth, J.F., Electric Discharge Lamps. Cambridge: MIT Press. 1971
- 125) 小板橋 他：昭和 49 年照明学会全国大会予稿集、10 (1974)
- 126) F.Vollkommer and L. Hitzscke : Patent Application PCT, ED94/00380 (1993)
- 127) 真室、照明学会誌、42、135、(昭 33)
- 128) D.A.Doughty ,R.H.Wilson, and E.G.Thaler, J.Electrochemical Soc. 142- 10, 3542 (1995)
- 129) M.J.Fuller, Lighting Reserch and Technology 16-3, 113(1984)
- 130) B.J.Mulder, J.Electrochemical Soc. , 130, 440(1983)
- 131) H.H.Haft, R.W.Repsher and D.W.Lewis J.IES. april 195(1972)
- 132) 大森、照明学会誌、69 - 1、6(1985)
- 133) 明星、他、昭和 63 年照明学会全国大会予稿集
- 134) 川端、他、平成 3 年照明学会全国大会予稿集
- 135) L.Pogany, et al, 5th International symposium on the Sience and Technology of Light Source, 59(1989)
- 136) T.Soules, et al, 4th ibid. 7(1986)
- 137) P.W.C.Verhees, 5th ibid. 327(1989)
- 138) H.Tomioka et al . 7th ibid kyoto (1995)
- 139) 松尾、他、平成 8 年照明学会全国大会予稿集、P. 80

- 140) 多田、他、電子通信学会技術研究報告書 電子部品・材料、CPM84-52 (1984)
- 141) 伊藤、他 照明学会誌、76 - 10、10(1992)
- 142) T.A.Dang, et al . The Electrochem. Soc. Interface Fall Abstract 908(1994)
- 143) 広田、照明学会誌、68-2、77(昭和59年)
- 144) J.Bloem, et.al . Philips tech. Rev. 38-3,83(1978/79)
- 145) E.Rabsin, et al. Light. Res. Thech. 15-1,32,(1983)
- 146) W.Schuster, 4th International Symposium of the Sience and Technology of Light Sources 263,(1986)
- 147) T.R.Brumleve et al. High Temperatuer Lamp Chemistry ? Symposium (1993)
- 148) National Industrial Pollution Control Council Report , February 1972
- 149) IAEEEL newsletter 2-5,1,(1993)
- 150) J.M.Chilcott, LD+A/October,29,(1995)
- 151) R.Clear and S. Berman, J. IES, Summer 138 (1994)
- 152) H.P.Stormberg.(渡辺 訳)、照明学会誌 80 - 3、181(1996)
- 153) A.H.McKeag and P.W.Ranby : 特公昭 29-1268
- 154) K.H.Butler and H.H.Homer : Illum. Eng. 55. 396 (1960)
- 155) M.A.Asia and S.M.Poss : 特公昭 38-4325
- 156) M.A.Asia : 特公昭 39-1211
- 157) G.R.Gillooly and J.G.Rabatin : 特公昭 40-6843
- 158) J.M.P.J.Verstegen : J. Electrochem. Soc. 121. 1623 (1974)
- 159) 満間, 石川 : 特公昭 46-40604
- 160) 中島, 一ノ宮他 :第 186 回蛍光体同学会 (1981)
- 161) 平成7年電球類生産・販売・貿易統計」(社)日本電球工業会
- 162) 日亜分析データ
- 163) 「蛍光体ハンドブック」オーム社(1987)
- 164) 「照明ハンドブック」オーム社(1978)

- 165) 「レア・アース -その物性と応用-」 技報堂出版 (株)(1980)
- 166) 「希土類物語」 産業図書 (1991)
- 167) 「希土農業」 (社) 未踏科学技術協会 (1993)
- 168) 「希土類製品の使用上の注意事項/ガイドライン」 (社) 新金属協会 (1993)
- 169) P.W.C.Verheers : Fifth Int.Symposium on the Science & Technology of Light Sources. p.327 (1989)
- 170) H.Tomioka,T.Higashi,and K.Iwama:7-th Int.Symposium on the Science & Technology of Light Sources.p.323(1995)
- 171) H.C.G.Verhaar, B.J.Roelevink : Fifth Int.Symposium on the Science & Technology of Light Sources. p.71 (1989)
- 172) 柴田治男:照学誌 79,p721(1995)
- 173) 伊藤秀徳、田屋 明、玉谷正昭、寺島賢二:照学会 創立 75 周年記念全国大会 12, p.38(1991)
- 174) 神谷 茂:電気情報関連学会連合大会 2-89 (1991)
- 175) C.R.Ronda : Proc. IDW'95 vol.1, p.69 (1995)
- 176) 齊藤美保、本田久司、玉谷正昭:照学会 第 25 回東京支部記念大会講演 No.2-4 (1995)
- 177) 松尾和尋、笹田寿一、猪飼泰博、尾形芳郎:照学全大 p.80 (1996)
- 178) A.K.Albessard,M.Tamatani,M.Okumura,N.Matsuda,H.Hattori and S.Motoki : Proc. Asia Display '95, p.643 (1995)
- 179) S.Itoh,Y.Yonezawa,H.Toki and Y.Kagawa:ibid p.639 (1995)
- 180) B.M.Tissue,et al.:Extended Abstracts 1-st Int. Conf. Science Tech. Display Phosphors, p.153 (1995)
- 181) D.Ravichandran, et al. : ibid p.201 (1995)
- 182) A.Vecht, et al. : ibid p.107 (1995)
- 183) L.B.Shea, et al. : ibid p.241 (1995)
- 184) J.F.Waymouth : 照学誌 vol.74, p.4 (1990)
- 185) R.N.Bhargava, et al. : Phys.Rev.Lett., vol.72, 416 (1994)

- 186) 「車や電化製品の廃棄物から高濃度の水銀、鉛流出 環境庁」、朝日新聞 1993年9月18日付朝刊 p1
- 187) 「廃棄された家電製品危険 酸性雨にさらされ鉛流失」、毎日新聞 1993年9月18日付夕刊 p10
- 188) 千住金属工業株式会社社史「四十年のあゆみ」、日刊工業新聞社(昭和53年)、p147
- 189) 大澤直：電子材料のはんだ付技術、工業調査会(1992年) p93
- 190) 大澤直：電子材料のはんだ付技術、工業調査会(1992年) p93
- 191) 大澤直：電子材料のはんだ付技術、工業調査会(1992年) p31
川勝一郎、大澤直：日本金属学会誌、45(1981) 847
- 192) 社団法人照明学会編：照明ハンドブック、オーム社(昭和59年) p150
- 193) 社団法人照明学会編：照明ハンドブック、オーム社(昭和59年) p182
- 194) 社団法人照明学会編：照明ハンドブック、オーム社(昭和59年) p173
- 195) 社団法人照明学会編：照明ハンドブック、オーム社(昭和59年) p164
- 196) 中央労働災害防止協会編：化学物質の危険・有害便覧、中央労働災害防止協会(平成3年) p642~643
- 197) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p115
National Research Council : Medical and Biologic Effects of Environment Pollutants LEAD Airborne. Read in Perspective, National Academy of Sciences, (1972), Washington, D.C., USA
- 198) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p97
Hernberg, S., J. Nikkanen, G. Mellin, H. Lilius : Aminolevulinic acid dehydratase as a measure of lead exposure, Arch. Environ. Health 21 140-145 (1970)
- 199) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p6
Morozumi, M., T. J. Chow, C. Patterson : Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dust, and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. Geochim. Cosmochim. Acta 33:1247-1294, 1969
- 200) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p7
Chow, T. J. : Isotope analysis of seawater by mass spectrometry, J. Water Pollut. Control Fed. 40 399-411 (1968)

- 201) 堀口俊一：「鉛」環境中の鉛と生体影響、(財)労働科学研究所出版部(1993年) p48
- 202) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p24
- 203) 堀口俊一：「鉛」環境中の鉛と生体影響、(財)労働科学研究所出版部(1993年) p67-82,p119-127,p357
- 204) 後藤、池田、原 編：産業中毒便覧(増補版)、医師薬出版(1992年) p304
- 205) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p42~44
- 206) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p164~165
- 207) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p166
- 208) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p158~159
- 209) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p158、p169
- 210) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p161~163、p169
- 211) 堀口俊一：「鉛」環境中の鉛と生体影響、(財)労働科学研究所出版部(1993年) p83
寺岡久之、森井ふじ、小林純：食品中に含まれる 24 種の元素量および 1 日の元素摂取量について、栄養と食料 34 p221~239 (1981)
- 212) 桜井、中村、大久保 訳：環境汚染物質の生体への影響 10 鉛-大気中の鉛-、東京化学同人(1979年) p31~32、p43~44
- 213) 堀口俊一：「鉛」環境中の鉛と生体影響、(財)労働科学研究所出版部(1993年) p67~82
- 214) 鉛中毒予防規則 昭和 47 年 9 月 30 日労働省告示第 37 号
- 215) 作業環境測定法 昭和 50 年法律第 28 号
- 216) 土壌汚染に係わる環境基準について 平成 3 年 8 月 23 日環境庁告示第 46 号市街地土壌汚染問題検討会報告書 昭和 61 年 1 月環境庁水質保全局
- 217) 大気汚染防止法 昭和 43 年法律 97 号大気汚染防止法施行令 昭和 43 年 11 月 30 日政令第 329 号

218) 水質汚濁防止法 昭和45年法律第138号平成6年度地下水質測定結果について 平成7年12月環境庁水質保全局

219) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律 昭和45年法律第137号金属等を含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令 昭和48年2月17日総理府令第5号 最終改正平成7年10月2日総理府令第51号

220) 照明学会誌 「照明器具のエレクトロニクス化技術」 特集 77—5(1993)

221) 日経エレクトロニクス 特集「電子機器からハンダの鉛を追放へ」 1995年5月8日号 (No.635) p91~107

図表

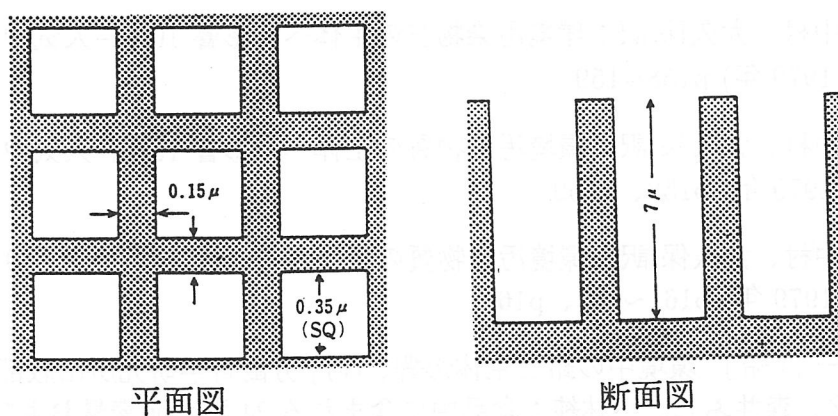


図 5.1: 放射体の構造の例²⁵⁾

波長範囲 (nm)	波長範囲 (μm)	波長範囲 (cm)	波数範囲 (cm ⁻¹)	波数範囲 (THz)	波数範囲 (E _{photon}) (eV)
10000 - 4000	100 - 40	10 ⁻³ - 4 × 10 ⁻³	25000 - 7500	30 - 75	3.1 - 12.4
4000 - 700	40 - 7	4 × 10 ⁻³ - 7 × 10 ⁻⁴	7500 - 14300	75 - 300	12.4 - 3.1
700 - 1000	7 - 10	7 × 10 ⁻⁴ - 10 ⁻³	14300 - 10000	300 - 300	3.1 - 3.1
1000 - 100000	10 - 10000	10 ⁻³ - 10 ²	10000 - 100	300 - 3 × 10 ¹¹	3.1 - 3 × 10 ⁻⁵

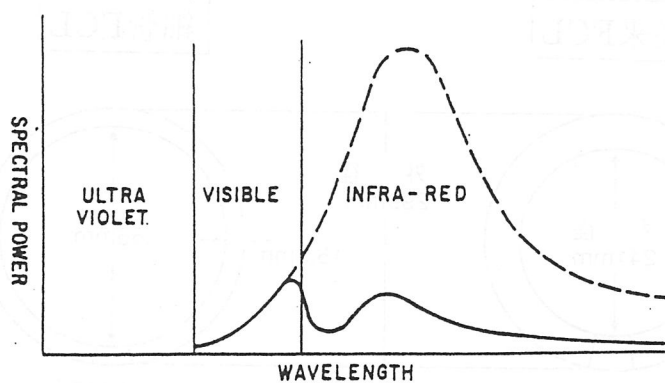


図 5.2: サブミクロン孔から放射される発光スペクトル²⁶⁾

表 5.1: Hf 蛍光ランプの特性

品 番	電力 (W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
FHF16EX-N-HG	16	1400	87.5	12000
FHF16EX-N-HG	23	2000	87.0	12000
FHF32EX-N-HG	32	3200	100.0	12000
FHF32EX-N-HG	45	4500	100.0	12000
FHF50EX-N-HG	50	5200	104.0	12000
FHF50EX-N-HG	65	6400	98.0	12000

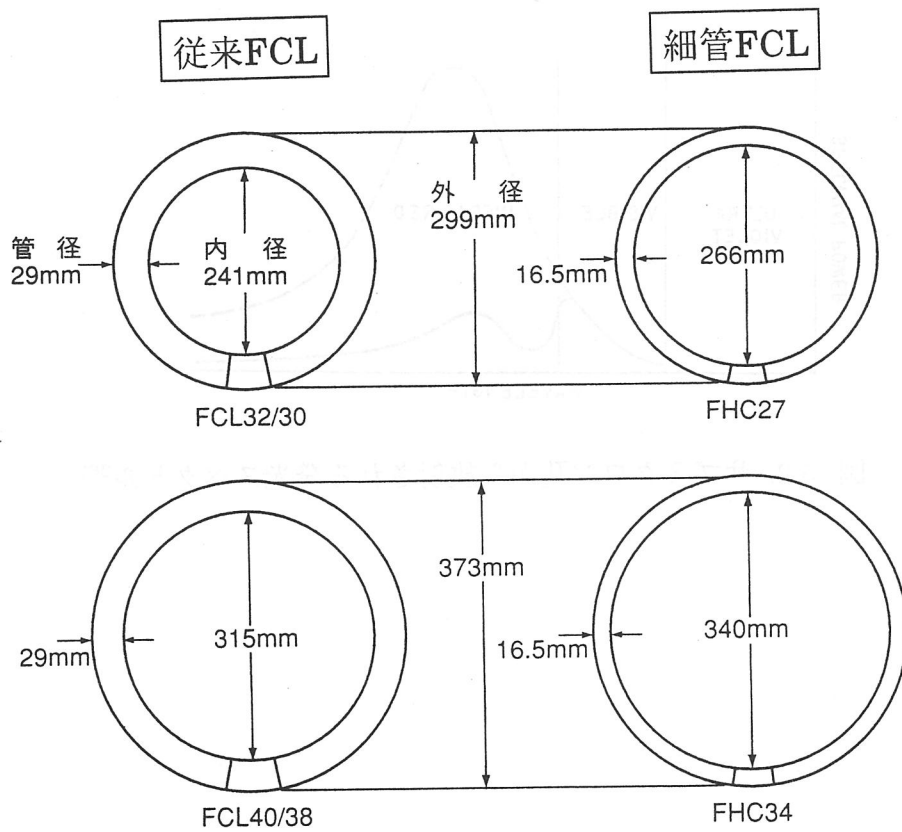


図 5.3: 細管環形蛍光ランプ

表 5.2: 16mmφ蛍光ランプの特性

品 番	電力 (W)	全光束 (lm)	効率 (lm/W)	定格寿命 (h)
FH14W, TL'5 14W	14	1350	96	16000
FH21W, TL'5 21W	21	2100	100	16000
FH28W, TL'5 28W	28	2900	104	16000
FH35W, TL'5 35W	35	3650	104	16000

表 5.3: YAG 系蛍光体 (Y,Gd)₃(Al,Gd)₅O₁₂:Ce) の色度座標

No.	C I E 色度座標	
	x	y
①	0. 2 9	0. 5 4
②	0. 3 2	0. 5 6
③	0. 4 1	0. 5 6
④	0. 4 5	0. 5 3
⑤	0. 4 7	0. 5 2
⑥	0. 4 9	0. 5 1
⑦	0. 5 0	0. 5 0

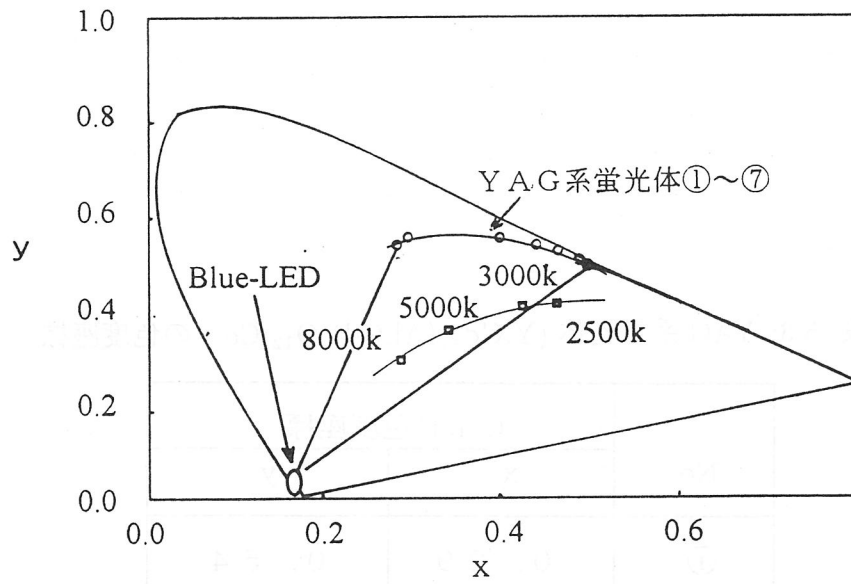


図 5.4: 白色 LED の色再現範囲 (表 5.4 の蛍光体と組み合わせることで色再現範囲が広まる (扇方部分))

表 5.4: 米国国家エネルギー政策法 (EPACT) による蛍光ランプの基準¹⁰³⁾

4 フィートG13 口金ランプ	ランプ効率	演色性
定格ランプ電力 35W 以上	75lm/W以上	Ra69 以上
定格ランプ電力 35W 未満	75lm/W以上	Ra45 以上
8 フィートスリムライン	ランプ効率	演色性
定格ランプ電力 65W 以上	80lm/W以上	Ra69 以上
定格ランプ電力 65W 未満	80lm/W以上	Ra45 以上
8 フィート高出力ランプ	ランプ効率	演色性
定格ランプ電力 100W 以上	80lm/W以上	Ra69 以上
定格ランプ電力 100W 未満	80lm/W以上	Ra45 以上

* 3波長形蛍光ランプを前提とした基準

表 5.5: 米国グリーンシール承認基準

コンパクト蛍光ランプ	ランプ効率	共通基準
定格ランプ電力 7W未満	40lm/W以上	* 寿命 8,000時間 以上
7~9W	50lm/W以上	
9~13W	55lm/W以上	
13~18W	60lm/W以上	
18W 以上	62lm/W以上	* 演色性 Ra 80 以上
E26 口金付き安定器内蔵蛍光ランプ	総合効率	* Hg封入量
定格ランプ電力 10W 未満	40lm/W以上	平均 15mg以下
10~15W	45lm/W以上	1996年6月以降
15W 以上	55lm/W以上	平均 10mg以下

表 5.6: EC エコラベル付与基準 (蛍光ランプ) ^{104, 105)}

	定格ランプ電力	効率 (lm/W)	水銀量	寿命
直管	10W 未満	55	10mg以下	10,000時間以上
	10W~18W	60		
	18W~33W	72		
	33W 以上	86		
片口金	10W 未満	40	10mg以下 又は 1.4mg/10 ⁶ lm hr 以下	8,000 時間以上
	10W~18W	45		
	18W 以上	55		
包装	合成樹脂は使用不可。ボール紙包装最低65%の再生材を含有。			
情報	適切な廃棄処理情報を明記する。			

表 5.7: 臭素系難燃材を用いないプリント基板の特性

特性項目	非ハロゲンアンチモン系プリント基板
一般特性	「引き剥がし強度」と「曲げの強さ」は従来品に劣る
耐トラッキング性	従来品より優れる
長期熱劣化特性	従来品より優れる
耐マイグレーション性	従来品と同等
スルーホール信頼性	従来品と同等

表 5.8: Pb レス技術の性能比較

接続材料	Sn-Pb 共晶ハンダ	Pb フリーハンダ	導電性接着剤
接続材料のコスト	低い	高い	高い
接続に要する温度	やや高い (表面実装 : +210°C~+240°C, 挿入実装 : +260°C)	高くなりそう (+240°C~+280°C)	低い (+150°C~+180°C)
接続に要する時間	短い (1分以内)	短い (1分以内)	長い (数十分~数時間)
接続部の強度	良好	良好~やや低い (Sn-Pb 共晶ハンダ の 8 割~6 割)	低い (Sn-Pb 共晶ハンダ の半分~1 折低い)
接続部の電気抵抗	低い	低い	低い
接続相手(電極材料) の選択	必要	必要	不要
接続不良箇所の再接続 (リペア)	微細ピッチでなけ れば容易	微細ピッチでなけ れば容易	難しい
表面実装型受動部品 の接続	容易	容易	比較的容易
表面実装型 LSI の接続	容易	比較的容易	難しい
表面実装における 接続時の特徴	リードの形状バラ つきがあっても自 己整合効果によ って接続。一方 でブリッジ、チ ップ部品立ち (ツームスト ーン現象)な どの恐れがある。	リードの形状バラ つきがあっても自 己整合効果によ って接続。一方 でブリッジ、チ ップ部品立ち (ツームスト ーン現象)な どの恐れがある。	リードの形状バラ つきがあると接 続しづらい。 一方でブリ ッジ、チ ップ部品立ち の恐れはない。
現在の表面実装工 程との整合性	良好	加熱条件、加熱 雰囲気や接続 後の外観検査 基準などの 変更の可能性 あり	それほど良く ない
挿入実装型部品 の接続	容易	容易	難しい
現在の挿入実装工 程との整合性	良好	加熱条件、加熱 雰囲気条件や 接続後の外 観検査基準 などの変更 の可能性 あり	整合しない

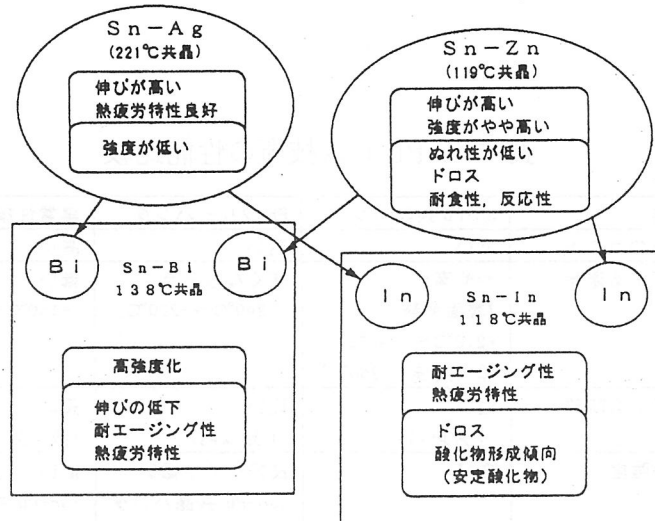


図 5.5: 183 °C近傍の融点を得るためのアプローチ及び各Pbフリーソルダの特性と問題点

表 5.9: いくつかのPbフリーソルダ及びSn-Pbの共晶系の特性比較

項目	Sn-Ag			Sn-Zn		Sn-Pb
	-Bi	-In	-Cu-Sb	-Bi	-In	
組成例	Sn-3.4Ag-4.8Bi Sn-2Ag-7.5Bi-0.5Cu	Sn-2Ag-18In Sn-2.8Ag-20In	Sn-2.5Ag-0.8Cu- 0.5Sb	Sn-6Zn-6Bi Sn-8Zn-10Bi	Sn-8Zn-5In- 0.5Ag	Sn-37Pb Sn-36Pb-2Ag
融点	○~◎(三元共晶?)	××(低い)	△(高い)	○(三元共晶?)	◎	◎
強度	◎	△	○	○	△	△
伸び	×	○	○	△	○	◎
ぬれ	○	○	○	△	△	◎
ブリッジ発生頻度	○	△	○	×	××	◎
粉末化	○	△	○	○	△	◎
ペーストの保存安定度	○	△	○	××	××	◎
耐マイグレーション	◎	◎	◎	?	?	×
価格	○	××	○	◎	×	◎

特性評価基準: ←良好 ◎>○>△>×>×× 劣る→ ? : 未確定

表 5.10: 省エネ法・特定機器「蛍光灯」の指定及び判断基準

項 目	内 容						
対象となる蛍光灯	① 40 形以上の蛍光灯ランプ及び高周波点灯専用ランプを使用する施設用蛍光灯器具 ②家庭用つりさげ型蛍光灯器具 ③卓上スタンド用蛍光灯器具						
対象となる事業者	対象となる蛍光灯(前①②③)を、年間3万台製造又は輸入する事業者						
目標年度と基準エネルギー消費効率	平成12年度(平成12年4月1日～平成13年3月31日)において国内向けの出荷した蛍光灯のエネルギー消費効率の荷重平均が、次の区分の基準エネルギー消費効率を下回らないこと。 <table border="1" data-bbox="571 1003 1321 1261"> <thead> <tr> <th data-bbox="571 1003 1005 1048">区 分</th> <th data-bbox="1005 1003 1321 1048">基準エネルギー消費効率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="571 1048 1005 1176">① 40 形以上の蛍光ランプ及び高周波点灯専用形蛍光ランプを使用する施設用蛍光灯器具</td> <td data-bbox="1005 1048 1321 1176">75 lm/W</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1176 1005 1261">②家庭用つりさげ型蛍光灯器具 ③卓上スタンド用蛍光灯器具</td> <td data-bbox="1005 1176 1321 1261">62 lm/W</td> </tr> </tbody> </table>	区 分	基準エネルギー消費効率	① 40 形以上の蛍光ランプ及び高周波点灯専用形蛍光ランプを使用する施設用蛍光灯器具	75 lm/W	②家庭用つりさげ型蛍光灯器具 ③卓上スタンド用蛍光灯器具	62 lm/W
区 分	基準エネルギー消費効率						
① 40 形以上の蛍光ランプ及び高周波点灯専用形蛍光ランプを使用する施設用蛍光灯器具	75 lm/W						
②家庭用つりさげ型蛍光灯器具 ③卓上スタンド用蛍光灯器具	62 lm/W						
表示事項 (平成7年6月1日から適用)	(a) 蛍光灯器具の品名又は形式 (b) 蛍光ランプの形式 (c) 全光束(lm) (d) 消費電力(W) (e) エネルギー消費効率(lm/W) (f) 製造事業者等の氏名又は名称						
表示の対象	① 40 形以上の蛍光ランプ及び高周波点灯専用形 蛍光ランプを使用する施設用蛍光灯器具 } カタログ ②家庭用つりさげ型蛍光灯器具 } カタログ及び本体又は包装 ③卓上スタンド用蛍光灯器具						

$$\begin{aligned} \text{照明エネルギー消費係数(CEC/L)} &= \frac{\text{照明消費電力量}}{\text{仮想照明消費電力量}} \\ &= \frac{\sum E1}{\sum E2} = \frac{\sum W_T \cdot A_T \cdot T_S \cdot F_T}{\sum W_S \cdot A_T \cdot T_S \cdot Q_{T1} \cdot Q_{T2}} \end{aligned}$$

<p>E1: 照明消費電力量(kWh) W_T: 計画照明設備電力(W/m²) A_T: 床面積(m²) T_S: 年間標準点灯時間(h) F_T: 照明設備の制御等による補正係数</p>	<p>E2: 仮想照明消費電力量(kWh) W_S: 標準照明設備電力(W/m²) A_T: 床面積(m²) T_S: 年間標準点灯時間(h) Q_{T1}: 照明設備の種類による補正係数 Q_{T2}: 照明設備の照度による補正係数</p>
--	--

図 5.6: 照明エネルギー消費係数の算出式

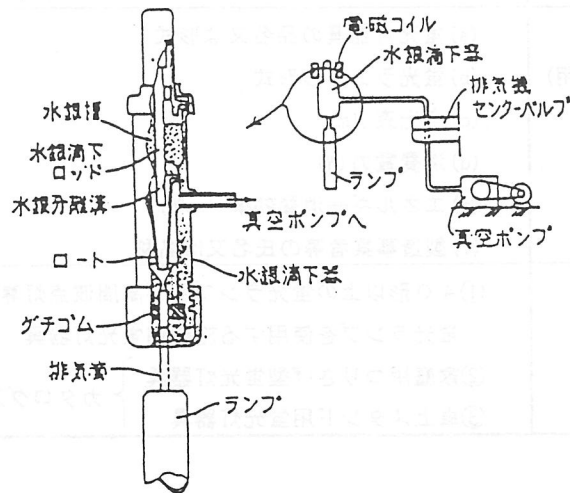


図 5.7: 液体水銀ドーザー(143)

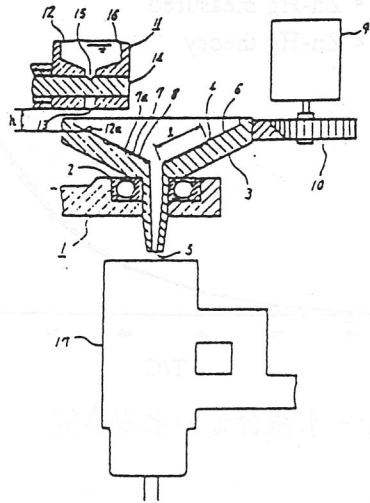


図 5.8: 水銀被覆器 (特開昭 54-31982)

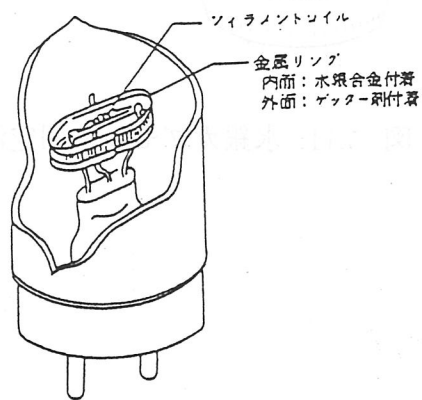


図 5.9: 水銀合金 (Hg-Ti) の固定法

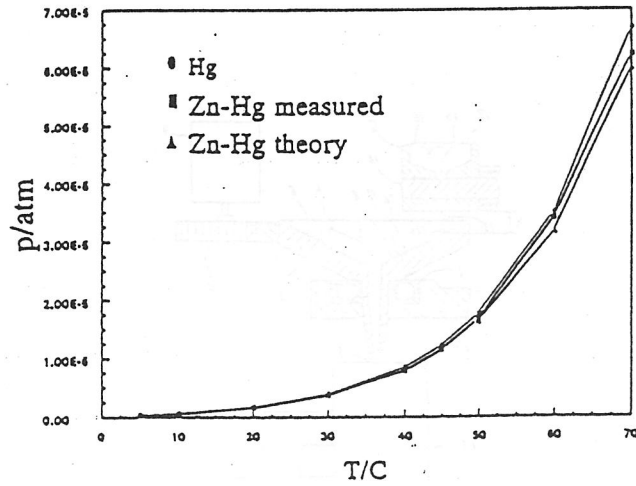


図 5.10: 亜鉛-水銀合金の水銀蒸気圧の温度変化¹⁴⁷⁾

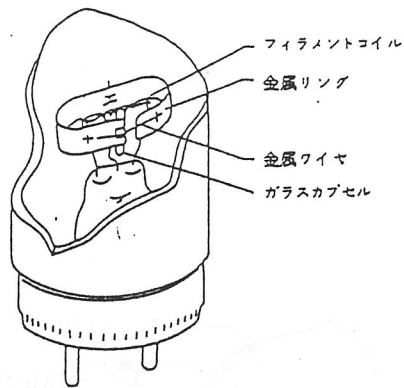
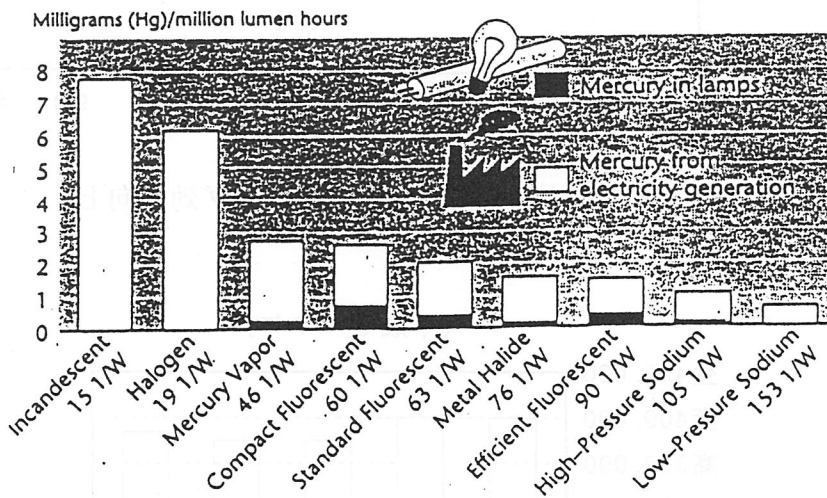


図 5.11: 水銀カプセルの固定法

Mercury Per Unit of Light Produced



All fossil fuels contain mercury. Based on the US fuel mix for electricity production (56% coal, 9% natural gas, 4% oil, and 31% non-fossil fuels) the mercury releases from operating incandescent lamps are three-times greater than for CFLs.

図 5.12: 化石燃料を使用した場合の各種ランプでの総放出水銀量

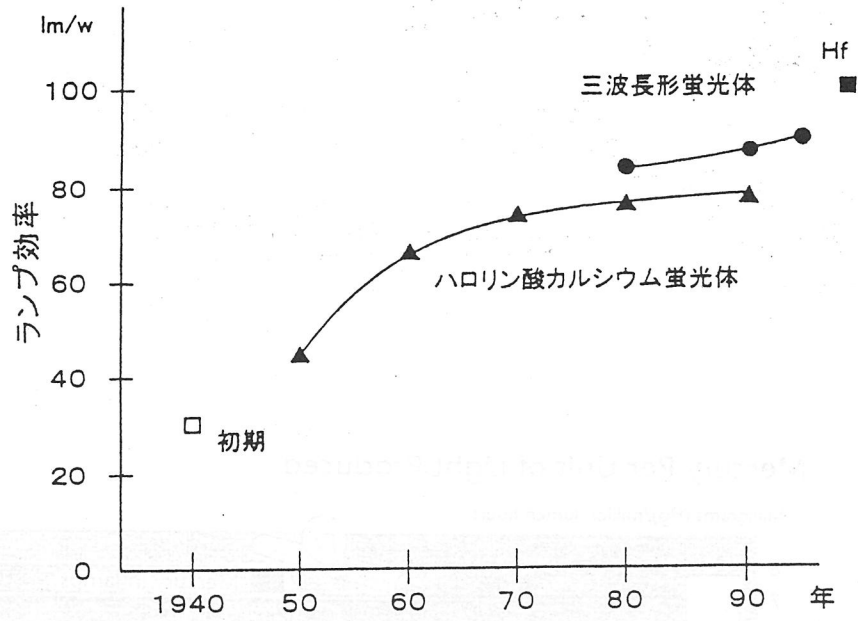


図 5.13: 蛍光体技術変遷と蛍光ランプ効率向上

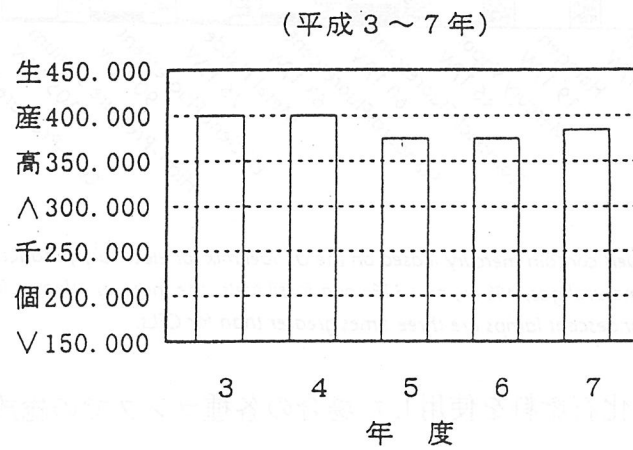


図 5.14: 蛍光ランプの生産高¹⁶⁰⁾

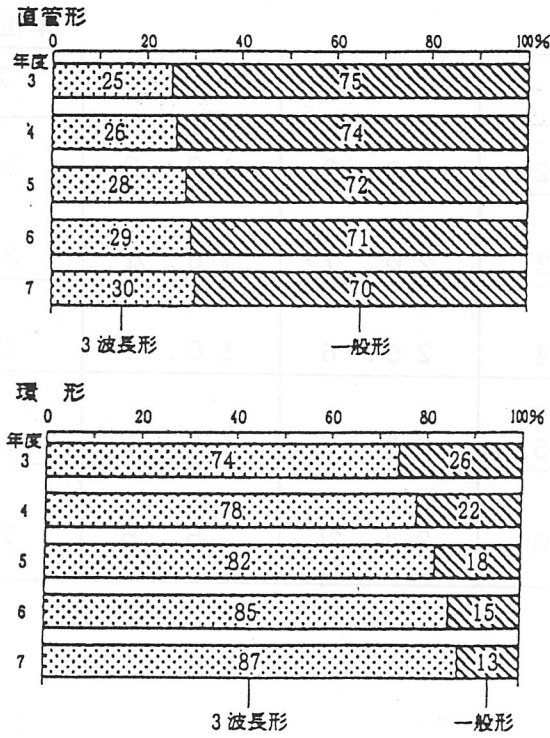


図 5.15: 蛍光ランプ国内出荷構成比の推移¹⁶¹⁾

表 5.11: 各社ランプ平均蛍光体塗布量

		塗布量 (g)	
		一般形	三波長形
直管形	20W	2.0	1.5
	40W	5.0	3.0
	110W	13.0	8.0
環形	30W	2.2	1.8
コンパクト形	27W		0.5

表 5.12: わが国のブラウン管生産本数

単位：百万本

年	CDT	CPT	合計
1992	21.0	13.0	34.0
1993	20.7	10.1	30.8
1994	20.6	10.1	30.7
1995	25.2	10.1	35.2
1996	24.2	5.6	29.8

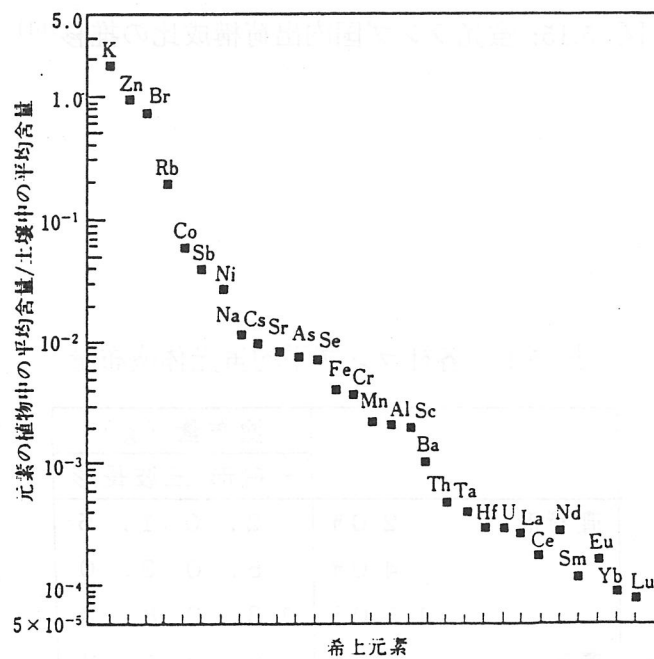


図 5.16: 希土類元素の植物と土壌中の平均含量の比率

表 5.13: ランプ用主要蛍光体の種類と構成材料

用途	蛍光体	構成原料	
照明用	一般形 白色蛍光体 $Ca_{10}(PO_4)_6FCl:Sb^{3+}, Mn^{2+}$	$CaHPO_4, CaCO_3, CaF_2,$ $CaCl_2, Sb_2O_3, MnCO_3$	
	三波長形	青色蛍光体 $(SrCaBa)_{10}(PO_4)_6Cl:Eu^{2+}$ $BaMg_2Al_{12}O_{27}:Eu^{2+}$	$SrCO_3, CaCO_3, BaCO_3, Eu_2O_3$ $(NH_4)_2HPO_4, NH_4Cl, MgCO_3, Al_2O_3$
		緑色蛍光体 $LaPO_4:Ce^{3+}, Tb^{3+}$	$La_2O_3, CeO_2, Tb_4O_7, (NH_4)_2HPO_4$
		赤色蛍光体 $Y_2O_3:Eu^{3+}$	Y_2O_3, Eu_2O_3
	H I D	赤色蛍光体 $Y(PV)O_4:Eu^{3+}$	$Y_2O_3, Eu_2O_3, (NH_4)_2HPO_4, V_2O_5$
		橙色蛍光体 $(SrMg)_3(PO_4)_2:Sn^{2+}$	$SrCO_3, MgCO_3, SnO_2, (NH_4)_2HPO_4$
		緑色蛍光体 $Y_2SiO_5:Ce^{3+}, Tb^{3+}$	$Y_2O_3, SiO_2, CeO_2, Tb_4O_7$
		黄緑色蛍光体 $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$	Y_2O_3, Al_2O_3, CeO_2
	CRT用	緑色蛍光体 $ZnS:Cu, Al$ $ZnS:Cu, Au, Al$	$ZnO, H_2S, CuSO_4, Al_2(SO_4)_3, AuS$
		青色蛍光体 $ZnS:Ag, Cl$ $ZnS:Ag, Al$	$ZnO, H_2S, NH_4Cl, Ag_2SO_4, Al_2(SO_4)_3$
赤色蛍光体 $Y_2O_2S:Eu^{3+}$		Y_2O_3, Na_2S, Eu_2O_3	

表 5.14: 希土類元素の天然含量 (ppm)

原子番号	元素記号	地殻	岩石圏					土壌	水圏		海洋生物		
			岩石	超基性岩	塩基性岩	中性岩	酸性岩		水成岩	粘板岩 (日本)	海水 (ppb)	海藻類	魚類
21	Sc	20	5~6	10	24	15	7	10	—	7	0.01	—	—
39	Y	33	28~55	4.5	18	30	20	33	27.3	50	0.1	—	—
57	La	30	6~18	—	27	40	46	40	19.4	40	0.02	10	0.004
58	Ce	60	27~46	—	n10	30	60	30	50.4	50	0.005	—	—
59	Pr	8.2	4~5.5	—	1.3	—	10	5	6.0	—	0.003	—	0.001
60	Nd	28	17~24	—	(10)	20	40	18	21.9	—	0.009	—	—
61	Pm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
62	Sm	6.0	6~6.5	—	1.5	—	6	5	5.9	—	0.002	—	—
63	Eu	1.2	0.2~1.1	—	—	—	(1.7)	(1)	1.0	—	0.0005	—	—
64	Gd	5.4	6~6.4	—	2	—	(10)	5	5.3	—	0.002	—	—
65	Tb	0.9	0.8~1.0	—	—	—	(2.5)	0.9	0.9	—	—	—	—
66	Dy	3.0	4~6.0	—	1.5	—	(5)	4	3.6	—	0.003	—	—
67	Ho	1.2	1~1.2	—	—	—	—	(1)	0.9	—	0.0009	—	0.001
68	Er	2.8	2~5.0	—	—	—	(2.5)	2.5	2.1	—	0.002	—	—
69	Tm	0.5	0.2~1.0	—	—	—	(2)	0.2	0.2	—	0.0005	—	—
70	Yb	3.0	2.5~6.0	—	1	—	(2)	(2.2)	2.1	—	0.002	—	—
71	Lu	0.5	0.7~1.4	—	—	—	(2)	(0.2)	0.4	—	0.0005	—	—
研究者		Taylor (1964)	Clark木村 Berg, Goldshmidt (1932-38)	A.P.Vingradov著 「土壌希土類元素の地球科学」 第2版(1957)より					A.P.Vino-gradovより	重松・Gold. Berg & Turekin (放射化分析)	亀田ら:(1962) (放射化分析)		

*日本粘板岩は中性・古生代の平均

表 5.15: 希土類元素酸化物の LD50

元素	毒性データ	文献
イットリウム	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP ⁽¹⁾
ランタン ⁽¹⁾	静脈内、ラット LD50 5.096ug/kg	SAX ⁽²⁾
セリウム ⁽²⁾	経口、ラット LDL。 1.00mg/kg	RTECS ⁽³⁾ SAX
プラセオジム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ネオジム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
サマリウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ユウロピウム ⁽¹⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ガドリニウム ⁽¹⁾	腹腔内、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
テルビウム ⁽¹⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	SAX
デスプロシウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ホルミウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
エルビウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ツリウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
イッテルビウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP
ルテチウム ⁽²⁾	経口、ラット LD50 1.00mg/kg超	TAP

*注 (1) TOXICOLOGY AND APPLIED PHARMACOLOGY, VOLUME 5, 750, 1963

(2) SAX' DANGEROUS PROPERTIES OF INDUSTRIAL MATERIALS, EIGHTH EDITION
VOLUME 1, 1992

(3) REGISTRY OF TOXIC EFFECTS OF CHEMICAL SUBSTRANCES 1975 EDITION

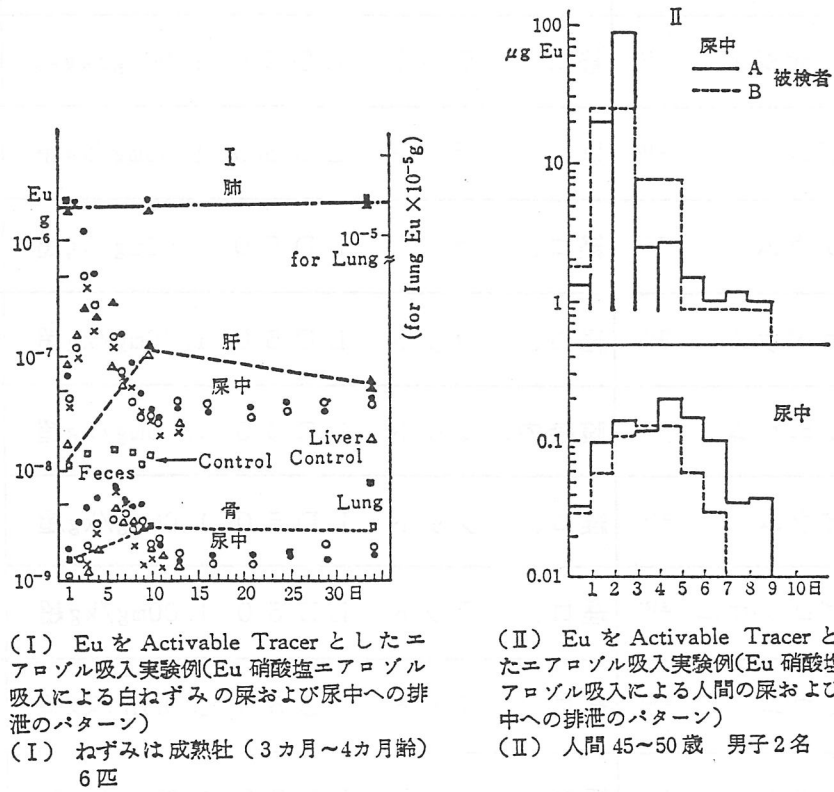


図 5.17: 希土類元素生態への影響

表 5.16: 蛍光ランプの効率の変化

	lm/w	効率
一般照明用蛍光ランプ (ハロリン酸カルシウム蛍光体)	60	100%
	↓	↓
	80	130%
三波長形蛍光ランプ (三波長蛍光体)	85	140%
	↓	↓
	90	150%
三波長形Hf蛍光ランプ (三波長蛍光体)	100	165%

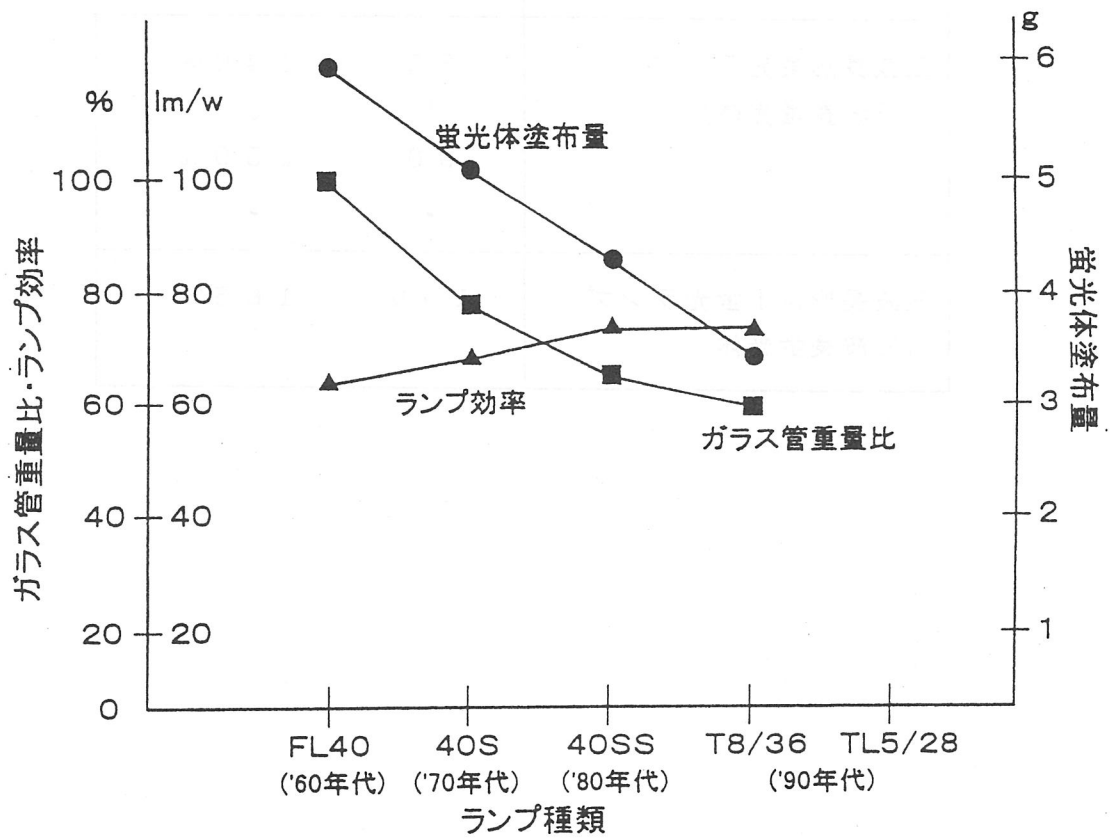


図 5.18: 昼光色ハロリン酸カルシウム蛍光体

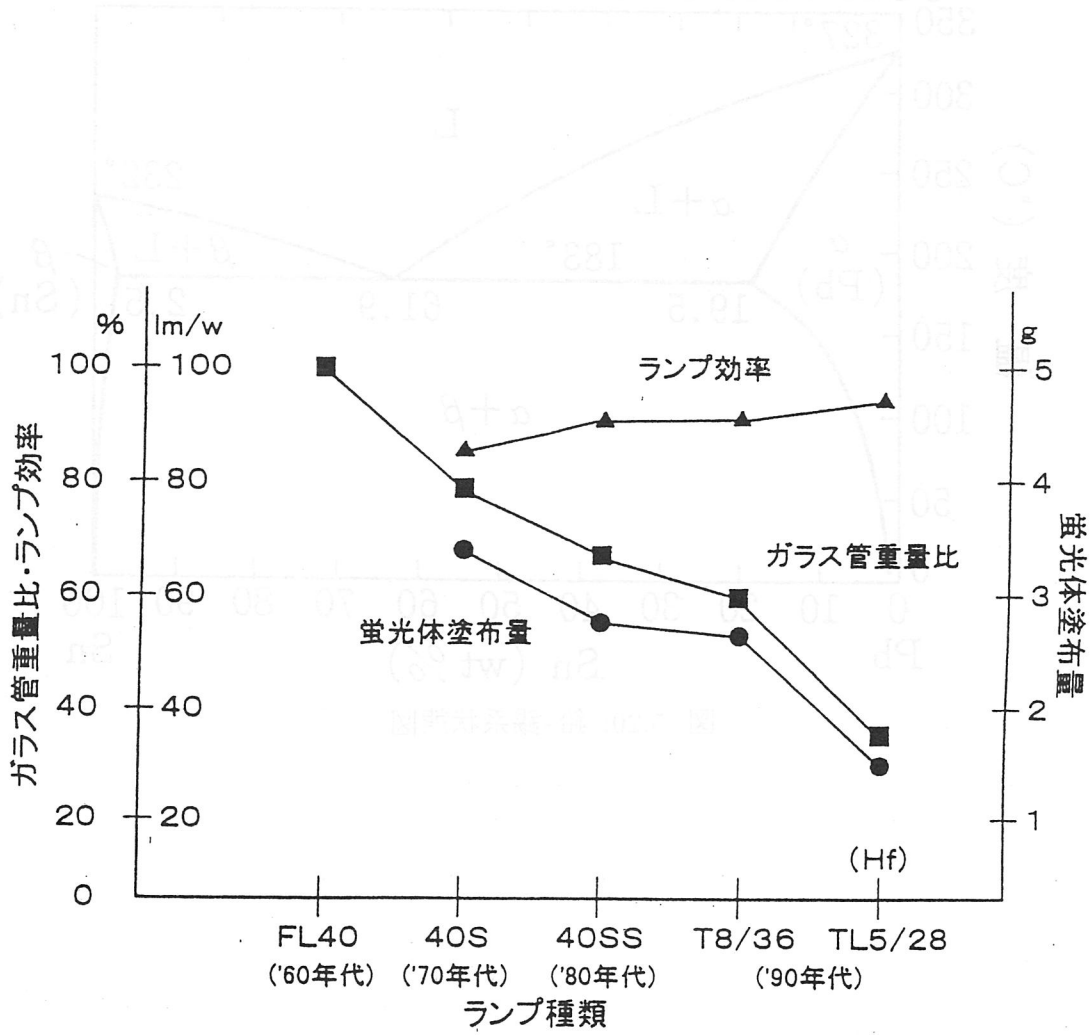


図 5.19: 昼光色三波長蛍光体

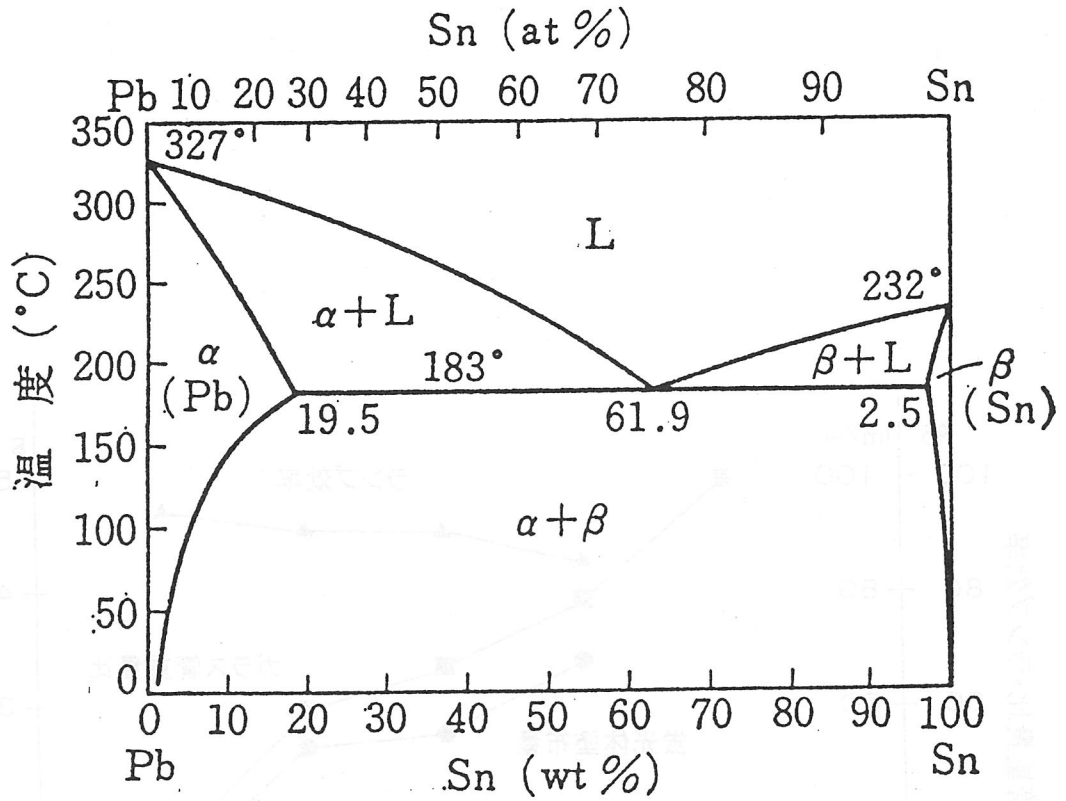


図 5.20: 鉛-錫系状態図

表 5.17: はんだの用途 (出典: JIS Z 3282 「はんだ」)

種類	用途
Sn 95 Pb	特殊用 (電気・電子工業関係及び食器類のはんだ付け), 高温用
Sn 65 Pb	電気・電子機器の配線, 継線用 (プリント配線や部品の組立など) 特に 63 Sn は共晶はんだで, 半熔融温度範囲が狭い。
Sn 63 Pb	
Sn 60 Pb	
Sn 55 Pb	一般用: 電気・電子機器の配線, 組立及び機械, 器具その他一般接合用 (電気工事, 電気工作物, テレビ, ラジオの製造, 製缶, ラジエータ, 屋根葺きなどの際のはんだ付け)
Sn 50 Pb	
Pb 55 Sn	
Pb 60 Sn	ラジエータ, 製缶, 鉛工用など
Pb 65 Sn	
Pb 70 Sn	
Pb 80 Sn	電球用 その他 高温用
Pb 90 Sn	
Pb 95 Sn	製缶用など
Pb 98 Sn	
Sn 43 Pb Bi 14	特殊用 (電気・電子工業関係), 低温用
Bi 58 Sn	
Sn 62 Pb Ag 2	銀電極, 銀-パラジウム導体用, 銀食われ防止用
Sn 96.5 Ag	特殊用, 毒性がないので食器用, 鋼配管用, 高温用
Sn 95 Sb	特殊用, 鋼配管用, 高温用
Pb 97.5 Ag	高温用, 特殊用
Pb 97.5 Sn Ag 1.5	

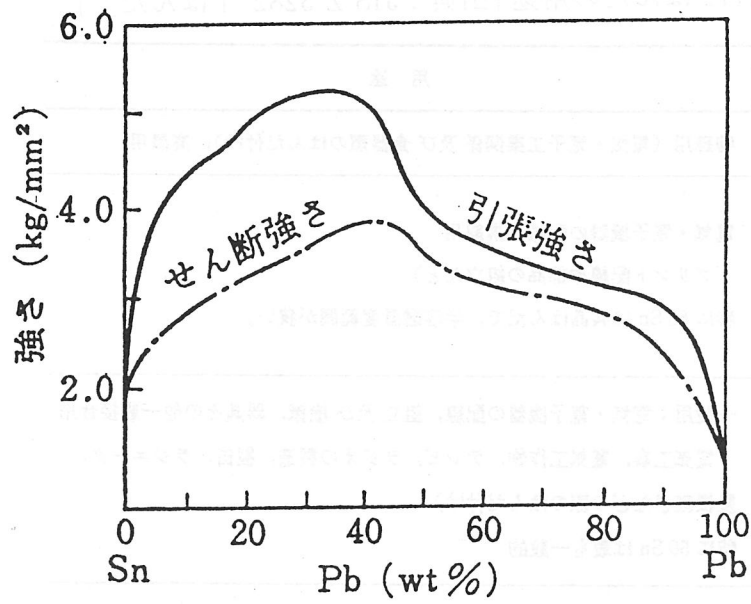


図 5.21: 錫-鉛系はんだの引っ張り強さとせん断強さ¹⁸⁹⁾

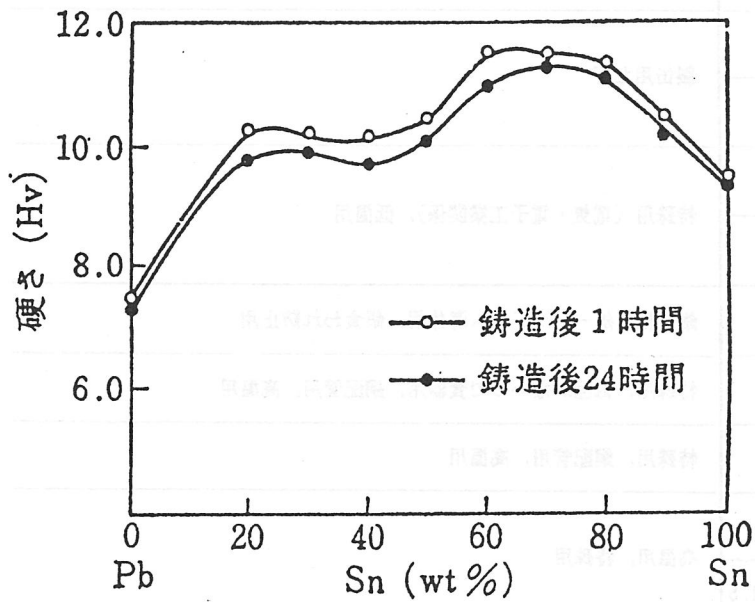


図 5.22: 錫-鉛系はんだの硬さ¹⁹⁰⁾

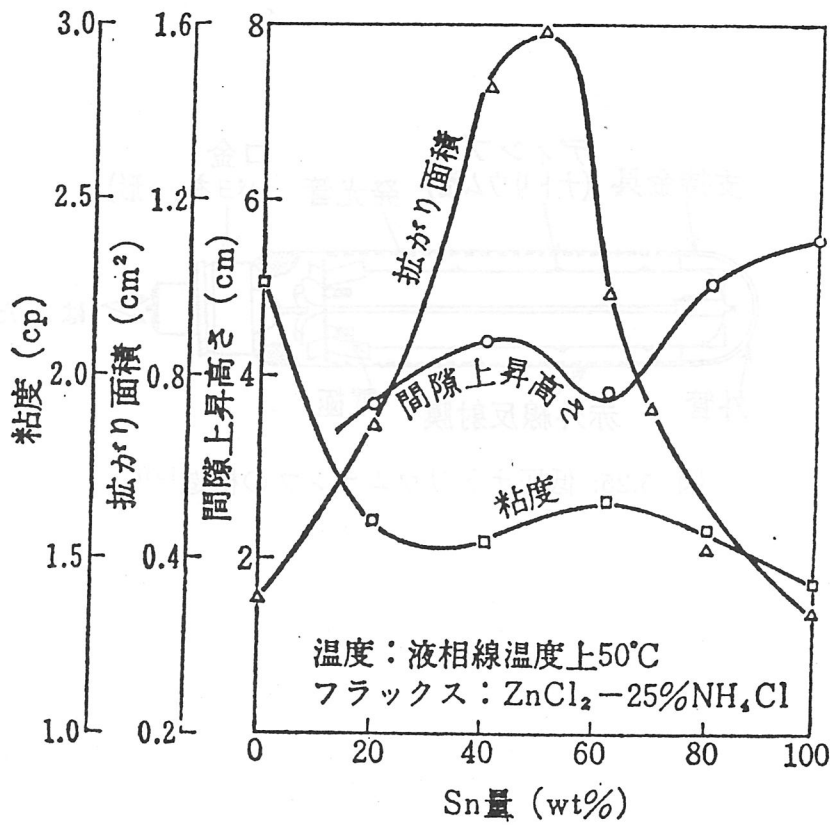


図 5.23: 錫-鉛系はんだの粘度と広がり性および間隔上昇高さ¹⁹¹⁾

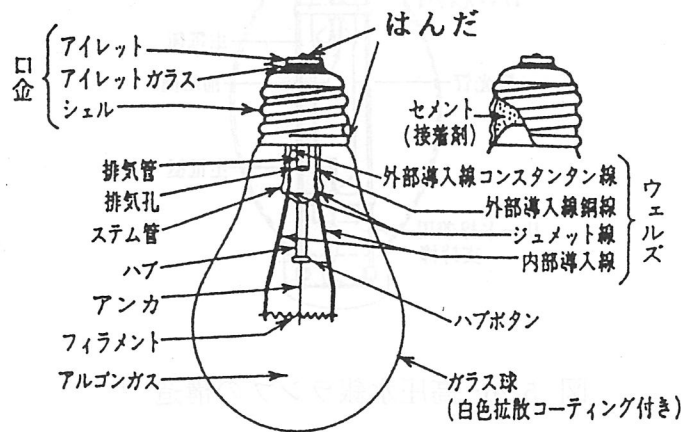


図 5.24: 一般白熱電球の構造¹⁹²⁾

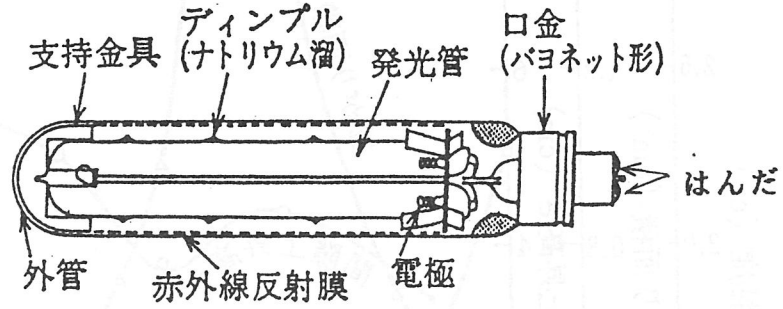


図 5.25: 低圧ナトリウムランプの構造¹⁹³⁾

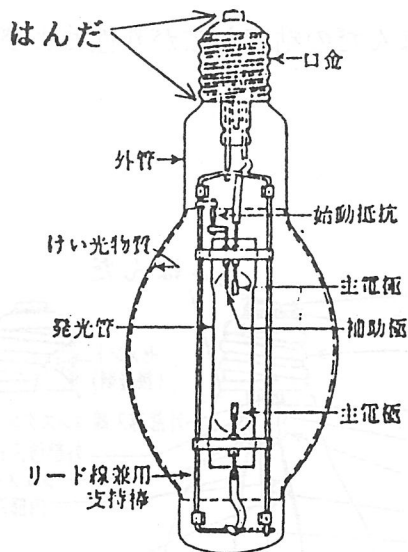


図 5.26: 高圧水銀ランプの構造¹⁹⁴⁾

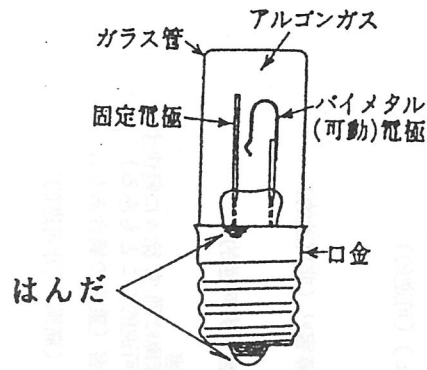


図 5.27: E 形グロースタータの構造¹⁹⁵⁾

一般人から職業性暴露を受けた人までのいろいろな暴露レベルにある 158 人の ALA 脱水酵素活性値と血中鉛濃度の関係。縦軸は対数目盛り。黒丸は医学生、白丸は印刷工、黒角印は自動車修理工、白角印は鉛精練工と船舶解体工

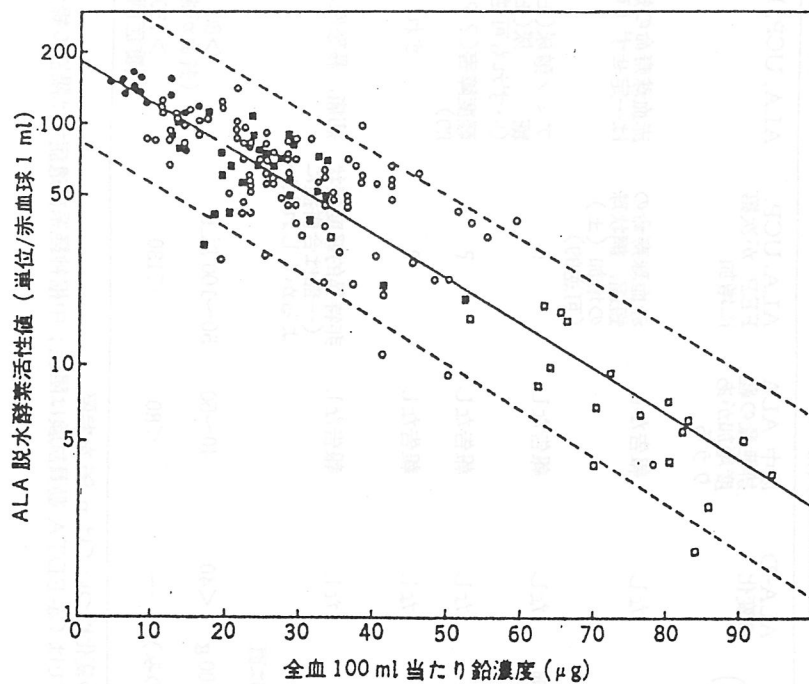


図 5.28: 血中鉛濃度と ALA 脱水酵素活性値¹⁹⁸⁾

表 5.18: 鉛吸収量別の各種生態影響¹⁹⁷⁾

代謝 (²⁴ Pb前駆物質) (の蓄積, 排泄)	レベルI	レベルII	レベルIII	レベルIV		レベルV
	生体影響見 いだされず	軽微な無症 状態の代謝 異常	代償機能の発 現	軽度	重度	慢性中毒あるいは急性中毒 の繰返しによる後遺症
代 謝	ALA-D の変化	尿中 ALA 排泄量の軽 度増加があ りうる	ALA, UCP, FEP が次第 に増加	ALA, UCP, FEP が 5~100 倍に増加		大量暴露後であれば増加す るが、時間が経過していれば 増加していない場合あり
機能障害						
1. 造血	なし	報告なし	赤血球寿命の 短縮, 網状球 の増加 (±) (可逆的)	赤血球寿命の短縮, 網状球の増加, 貧血 は一定せず (可逆的)		貧血 (±) (可逆的)
2. 腎臓 (尿細 管機能)	なし	報告なし	?	アミノ酸尿 (±), 糖尿 (±) (可逆的)	Fanconi 症候群 (可逆的)	慢性腎障害 ^{a)} (非可逆的)
3. 中枢神経	なし	報告なし	?	軽度障害 (???) 可逆 (的)	重度障害 (非可逆 的)	重度障害 (非可逆的)
4. 末梢神経	なし	報告なし	?	まれ	まれ	伝導障害 (伸筋麻痺は通常徐々に軽快す るか非可逆的のものもある)
臨床症状	なし	報告なし	非特異的程度症状 (一部は合併症に よるかもしれない)	疝痛, 易怒性, 嘔吐	運動失調症, 愚鈍, 昏睡, 痙攣	知能障害 (重症の場合あり), 痙攣, 腎不全 (痛風) (非可逆的)
その時点あるいは直 前の鉛吸収指標						
血中鉛, µg/100 g 全血	<40	40~60	50~100 以上	>80 (貧血がある場合は 50~100 以上)	>80	正常の場合あり
尿中鉛 (成人のみ), µg/l	—	<80	<130	>130 (重症例では少ないことがある)	>130	自然排泄尿では正常値の場合 あり

a) ALA-D の変化については p. 96 を参照.

b) 慢性腎障害では Ca-EDTA 動員試験は陽性; 中枢神経系後遺症では陽性の場合と陰性の場合がある.

(出典: 桜井、中村、大久保 訳: 環境汚染物質の生体への影響 10
鉛一大気中の鉛一 東京化学同人 (1979年) p115)

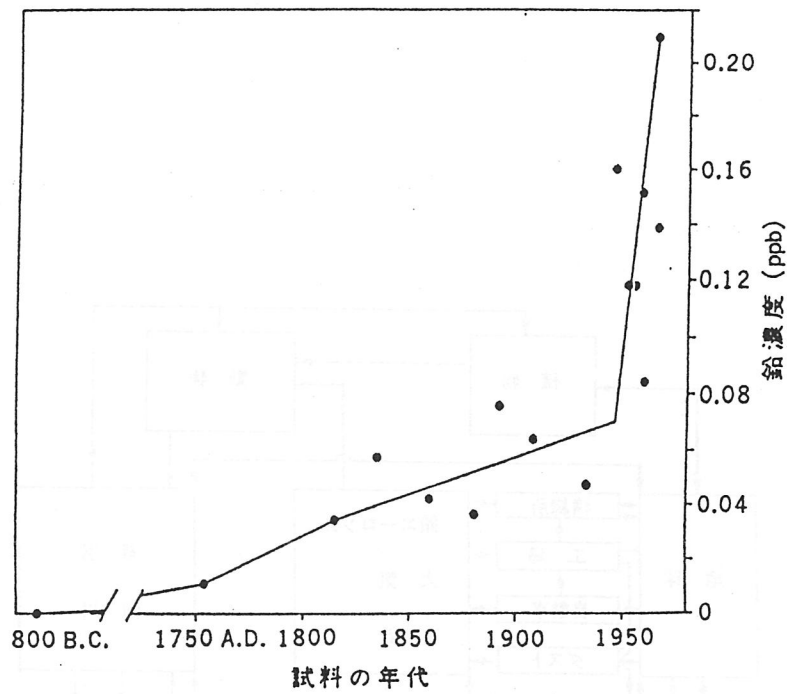


図 5.29: グリーンランド、カンプセンチュリーのB.C.800年以降の雪における鉛の増加¹⁹⁹⁾

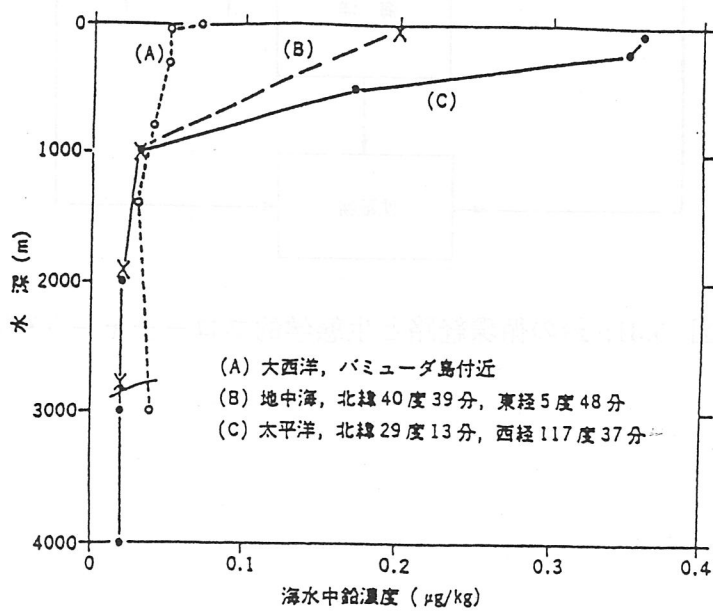


図 5.30: 海洋中鉛濃度の縦断像²⁰⁰⁾

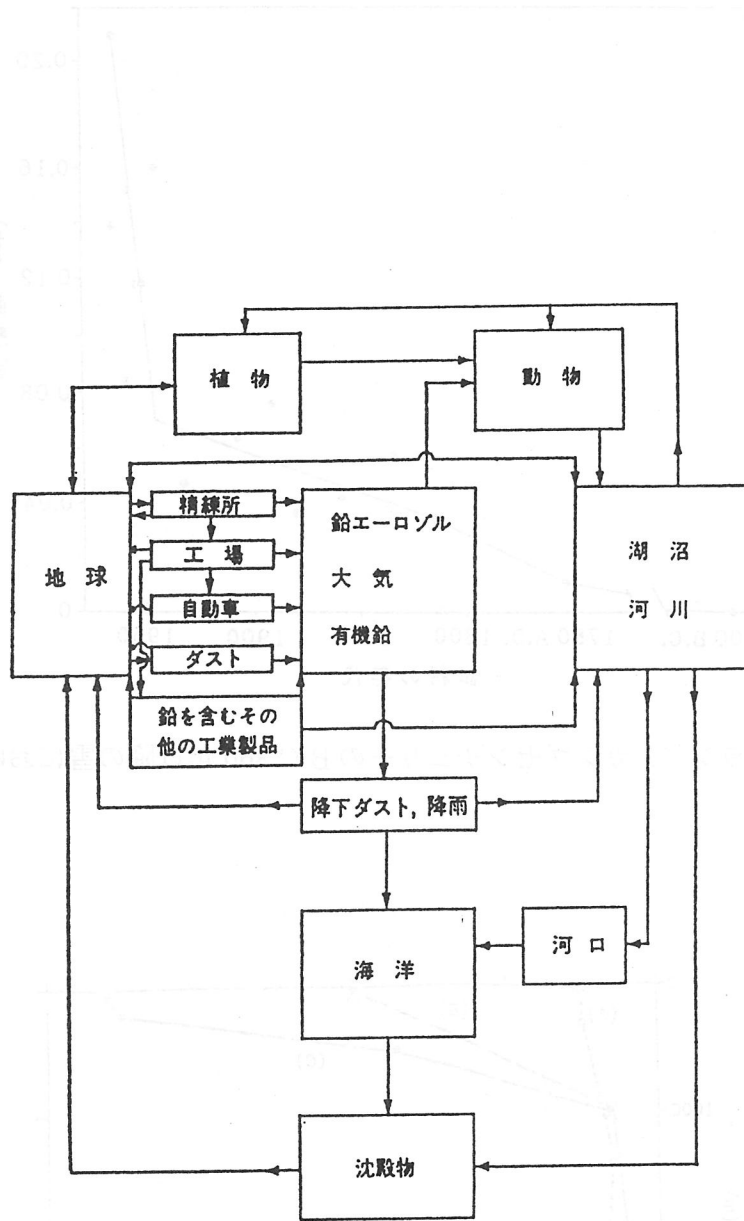


図 5.31: 鉛の循環経路と生態学的フローチャート²⁰²⁾

表 5.19: 食品中の鉛分析値²¹¹⁾(単位: $\mu\text{g}/100\text{g}$)

種 類	平均	範 囲	備 考	
肉類				
牛 (内臓を含む)		5.1~21	新鮮試料	
豚 (同上)		9.0~30		
鶏		8.3~9.1		
羊		7.0		
全体	12	5.1~30		
ミルク	6.5	5.8~7.6	同上	
卵	26	14~38		
穀類				
玄米	21	15~27	自然乾燥試料	
精白米	6.7	4.6~9.1		
小麦	18	16~22		
小麦粉	—	16		
魚介類				
魚類	19	7.3~43	新鮮試料	
貝類	23	12~34		
野菜・果実類				
葉菜類	50	< 5 ~ 230	新鮮試料	
果菜類	16	4.8~43		
根菜類	14	9.2~27		
果実類	12	2.7~24		
いも類	20	12~30		
きのこ類	34	12~56	新鮮試料	
海藻類				
海藻類 (わかめ, とさか, ひじき, もずく)	20	3.4~68	新鮮試料	
こんぶの根		250		自然乾燥試料
こんぶ		1500		
わかめ		390		
種実類				
大豆		20	自然乾燥試料	
白ごま		60		
黒ごま		67		
褐色ごま		130		
その他 (加工食品, 嗜好食品)		2.5~310	新鮮試料	

	重量%
ガラス	90~92
蛍光体	1~2
電極	3~4*
水銀	~0.004
口金	1~2

*電極 ステムガラス 2~3%
 導入線 0.2%
 タングステンコイル <0.01%
 エミッター <0.002%
 (Ba,Ca,Srの酸化物)

図 5.32: 代表的蛍光ランプの材料構成 (一般直管形)

表 5.20: ガラスの成分例

ガラスの種類	成分 (重量%)				
	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	PbO
ソーダライムガラス	69~72	16~18	8~9	1.6~2.2	0
鉛ガラス	63	13.5	0	1.5	22
硬質ガラス	81	4	0	15	0
石英ガラス	100	0	0	0	0

第 6 章 委員会提言

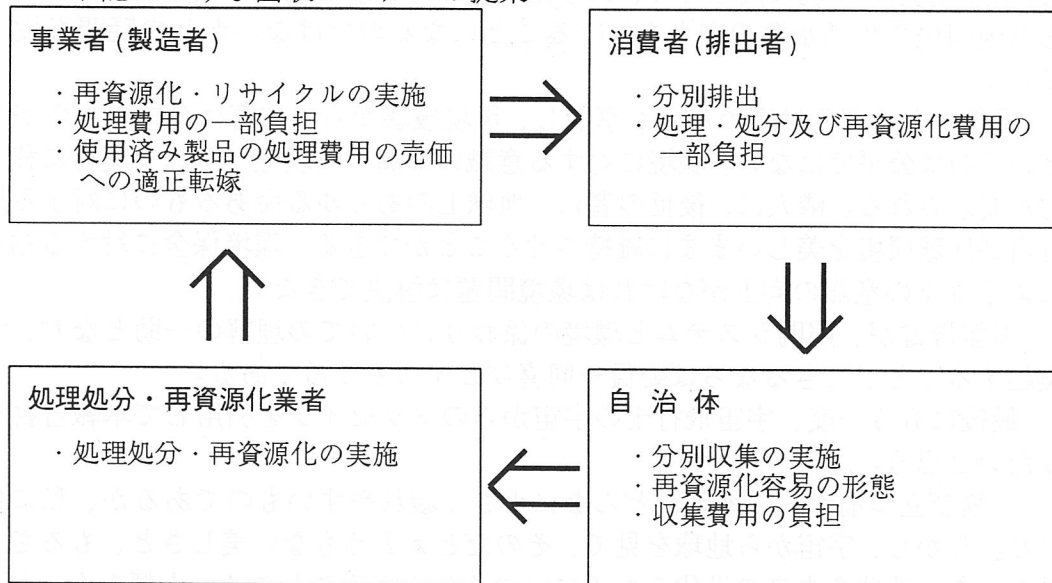
環境保全を目指した照明システムを実現するためには、生産者側と消費者側が相互に理解を深め、以下の課題に取り組む必要がある。

1) 製品に対する提言

- (a) 有害物質の減量化さらには零化
 - ・ 封入法、点灯中の消耗量の削減の技術開発による有害物質封入量の削減
 - ・ 代替材料の開発による無水銀化
- (b) 環境への影響が少ない製品の開発
 - ・ 設計段階からの環境影響評価 (LCA) の導入
- (c) 省エネルギー、省資源製品の普及・促進
 - ・ 高効率化、長寿命化、小型化技術開発の一層の推進

2) 社会システムに対する提言

- (a) 回収システムの早急な構築
 - ・ 下記のような回収システムの提案



※矢印は資源の流れ

- (b) 教育・啓蒙
 - ・ 回収システム社会に関する教育と啓蒙
 - ・ 照明システムに関する教育と啓蒙
 - ・ 不用照明の防止と過度の照明の抑制

第7章 むすび

本委員会に三年間参加して、関心を持って環境問題を眺めると、これは全地球人が心を一つにして真剣に取り組まなければならない緊急の課題であることを教えられた。

照明システムの高効率化と長寿命化の研究・開発は、省エネルギーと省資源の観点から大いに環境保全に役立っている。ただ、従来の製品の開発と消費者の製品の選択は、経済性と快適さを優先し、資源の流れに恒久的な始点と終点が存在すると前提していたところに問題があった。この前提が進むならば、いずれ始点においては資源とエネルギーの枯渇を、終点では廃棄物の蓄積をもたらす結果になる。地球環境を守るためには、投入する資源とエネルギーの消費が少ない循環型社会を構築することが必要である。そのためには照明システムの研究・開発者には高効率化・長寿命化に加えて再生化・再資源化の思想が要求され、システムの利用者には、その機能を最大限に生かすことに加えて省エネルギーと自らの廃棄物に対する配慮と責任が要求される。

環境問題は経済と密接に関係しているため、これを理解することと実行することには現実に大きいギャップが存在する場合があります。最近も、中国のある地方で工場からの水銀の流出によって将来水俣病の発生が確実視されているにもかかわらず、今日の食べ物のために操業を止めるわけにはいかないという切実な報道があった。南北格差の問題に関しても、二酸化炭素の排出量を現状の値に固定することは、開発途上国国民の生活水準の向上を妨げることになるのではないかと疑問も投げかけられている。

環境からの恵みは富める者が享受し、環境破壊からの被害は全てのものが平等に領つというのは公平ではない。環境に対する意識には高い倫理性とそれを実行に移す強い行動力が要求される。隣人に、後世の者に、地球上のあらゆる命あるものに対する思いやりの行為が地球環境を美しいままに維持させることができる。環境保全に対する粘り強い教育による個々の意識の向上がなければ環境問題は解決できない。

本報告書が、照明システムと環境の係わりについての理解の一助となり、問題意識を喚起することができるならば委員一同喜びとするところである。

最後にもう一度、宇宙飛行士の宇宙からのメッセージを引用して本報告書を締めくくりたいと思う。

「飛び立つ前から、地球がどんなに小さく壊れやすいものであるか、私には分かっていた。しかし、宇宙から地球を見て、そのたとえようもない美しさと、もろさをこの目で見たとき、地球を未来の世代のためにいつくしみ守ることこそ、人類のもっとも緊急な課題であると私ははじめて痛感した。」 イェートン(ドイツ)¹⁾

1) 竹内均監修:地球/母なる星、小学館、1989年、140頁

付録 光源および光源記号

No.	光源及び光源記号
1	<p>○ 白熱電球 (例) <u>LW</u> <u>100V</u> <u>40W</u> <u>G50</u> <u>E17</u> (1) (2) (3) (4) (5)</p> <p>記号</p> <p>(1) 電球の種類を示す LC : 透明のなす形電球 LH : 半コーティングなす形電球 LW : 白色塗装(シリカ塗装)のなす形電球 GC : 透明のボール電球 GW : 白色塗装(シリカ塗装)のボール電球 RF : 散光形のリフレクタ(反射形)電球 RS : 集光形のリフレクタ(反射形)電球 BRF : 散光形のビーム(反射形)電球 BRS : 集光形のビーム(反射形)電球 CRF : 散光形のビーム(反射形)電球(熱線カット形) CRS : 集光形のビーム(反射形)電球(熱線カット形)</p> <p>(2) 定格電圧を示す(ボルト) (3) 定格消費電力を示す(ワット) (4) ボール電球の場合のガラス球の直径(mm)を示す (なす形等の普通の電球にはこの記号はつけない) (5) E17は口金の直径が17mmであることを示す (普通の電球の場合はE26で、この記号はつけない)</p>
2	<p>○ ハロゲンランプ (例) <u>J</u> <u>R</u> <u>-</u> <u>12V</u> <u>50W</u> <u>-</u> <u>-</u> <u>EXT</u> <u>/EZ</u> <u>-K</u> <u>F</u> (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11)</p> <p>記号</p> <p>(1) ハロゲンランプの種類を示す (2) 主な用途を表す記号 無表示 : 一般照明用 R : 一般照明用反射形(ダイクロミラー付) C : 映写用、光学機器用 P : スタジオ用 A : 自動車用</p> <p>(3) コイルの種類を示す [無表示 : 単コイル, D : 二重コイル]</p> <p>(4) 定格電圧を示す(ボルト) (5) 定格消費電力を示す(ワット) (6) 光源の分布温度を示す記号 [無表示 : 2800~3000K, B : 3050K, C : 3200K]</p> <p>(7) ガラス仕上げの種類を示す [無表示 : 透明, N : 赤外反射膜付]</p> <p>(8) ANSI CODE を示す (9) 口金の種類及び、ビームの開きの種類を示す</p>

号	<table border="0"> <tr> <td>口金の種類</td> <td>ビームの開きの種類</td> </tr> <tr> <td>E : E11</td> <td>S : スポット</td> </tr> <tr> <td>EZ : EZ10</td> <td>F : フラッド</td> </tr> <tr> <td>(EX : EX10)</td> <td>M : ミディアム</td> </tr> <tr> <td>無表示 : その他</td> <td>NF : ナローフラッド</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MN : ミディアムフラッド</td> </tr> </table>	口金の種類	ビームの開きの種類	E : E11	S : スポット	EZ : EZ10	F : フラッド	(EX : EX10)	M : ミディアム	無表示 : その他	NF : ナローフラッド		MN : ミディアムフラッド
	口金の種類	ビームの開きの種類											
E : E11	S : スポット												
EZ : EZ10	F : フラッド												
(EX : EX10)	M : ミディアム												
無表示 : その他	NF : ナローフラッド												
	MN : ミディアムフラッド												
	<p>(10) 前面ガラスを示す [無表示 : 前面ガラスなし, K : 前面ガラス付]</p> <p>(11) ガラスの処理を示す記号及び、ミラー径を示す</p> <table border="0"> <tr> <td>ガラスの処理</td> <td>ミラー径</td> </tr> <tr> <td>3 : 35φ</td> <td>F : フロスト</td> </tr> <tr> <td>5 : 50φ</td> <td>R : 赤色</td> </tr> <tr> <td>12 : 121φ</td> <td>B : 青色</td> </tr> <tr> <td></td> <td>G : 緑色</td> </tr> </table>	ガラスの処理	ミラー径	3 : 35φ	F : フロスト	5 : 50φ	R : 赤色	12 : 121φ	B : 青色		G : 緑色		
ガラスの処理	ミラー径												
3 : 35φ	F : フロスト												
5 : 50φ	R : 赤色												
12 : 121φ	B : 青色												
	G : 緑色												
3	<p>○ スタータ形蛍光ランプ (例) $\frac{FL}{(1)} \frac{20SS}{(2)} \frac{EX-N}{(3)} \frac{/18}{(4)} \frac{-H}{(5)}$</p>												
記号	<p>(1) ランプの種類及び形状を示す</p> <table border="0"> <tr> <td>FL : 直管形</td> <td>FCL : サークライン</td> </tr> <tr> <td>FUL : ユーライン</td> <td>GL : 殺菌ランプ</td> </tr> </table> <p>(2) ランプの大きさの区分を表す数値、及びガラス管が細いものを示す 20 : 定格ランプ電力 (20 ワット) (節電設定の場合は大きさの区分を示す : 20 形) SS : ガラス管径 29mm (S は 32mm) R : 反射形</p> <p>(3) 光源色、演色性、用途などを示す (3 波長域発光形)</p> <table border="0"> <tr> <td>EX-D : 3 波長発光形昼光色</td> <td>EX-N : 3 波長発光形昼白色</td> </tr> <tr> <td>EX-WW : 3 波長発光形温白色</td> <td>EX-L : 3 波長発光形電球色</td> </tr> </table> <p>(普通形)</p> <p>D : 昼光色, N : 昼白色, W : 白色, WW : 温白色, (高演色形、演色 AAA)</p> <table border="0"> <tr> <td>D-EDL : 演色 AAA 昼光色</td> <td>N-EDL : 演色 AAA 昼白色</td> </tr> <tr> <td>L-EDL : 演色 AAA 電球色</td> <td>W-EDL : 演色 AAA 白色</td> </tr> </table> <p>(高演色形、演色 AA)</p> <p>D-SDL : 演色 AA 昼光色, N-SDL : 演色 AA 昼白色</p> <p>(その他)</p> <p>B : 青色, BW : 青白色, G : 緑色, PK : 桃色, Y : 黄色 BL、BLB : 紫外線放射, NU : 紫外線防止用 (退色防止用)</p> <p>(4) 節電設定の定格ランプ電力を示す (ワット)</p> <p>(5) 5 色発光形蛍光ランプを示す記号</p>	FL : 直管形	FCL : サークライン	FUL : ユーライン	GL : 殺菌ランプ	EX-D : 3 波長発光形昼光色	EX-N : 3 波長発光形昼白色	EX-WW : 3 波長発光形温白色	EX-L : 3 波長発光形電球色	D-EDL : 演色 AAA 昼光色	N-EDL : 演色 AAA 昼白色	L-EDL : 演色 AAA 電球色	W-EDL : 演色 AAA 白色
FL : 直管形	FCL : サークライン												
FUL : ユーライン	GL : 殺菌ランプ												
EX-D : 3 波長発光形昼光色	EX-N : 3 波長発光形昼白色												
EX-WW : 3 波長発光形温白色	EX-L : 3 波長発光形電球色												
D-EDL : 演色 AAA 昼光色	N-EDL : 演色 AAA 昼白色												
L-EDL : 演色 AAA 電球色	W-EDL : 演色 AAA 白色												
4	<p>○ ラビットスタート形蛍光ランプ (例) $\frac{FLR}{(1)} \frac{40S}{(2)} \frac{EX-N}{(3)} \frac{/M}{(4)} \frac{/36}{(5)} \frac{-H}{(6)}$</p>												
	<p>(1) ランプの種類及び形状を示す</p> <table border="0"> <tr> <td>FLR : 直管形,</td> <td>FCR : サークライン</td> </tr> </table>	FLR : 直管形,	FCR : サークライン										
FLR : 直管形,	FCR : サークライン												

記号	<p>(2) ランプの大きさの区分を表す数値、及びガラス管が細いもの、又は高出力形等を示す。 40 : 定格ランプ電力 (40 ワット) 節電設定の場合は大きさの区分を示す : 40 形 S : ガラス管径 32mm (ない場合は 38mm) H : 高出力形 (EH : 超高出力形) R : 反射形</p> <p>(3) 光源色、演色性、用途などを示す (3 波長域発光形) EX-D : 3 波長発光形昼光色 EX-N : 3 波長発光形昼白色 EX-WW : 3 波長発光形温白色 EX-L : 3 波長発光形電球色 (普通形) D : 昼光色, N : 昼白色, W : 白色, WW : 温白色, (高演色形、演色 AAA) D-EDL : 演色 AAA 昼光色 N-EDL : 演色 AAA 昼白色 L-EDL : 演色 AAA 電球色 W-EDL : 演色 AAA 白色 (高演色形、演色 AA) D-SDL : 演色 AA 昼光色, N-SDL : 演色 AA 昼白色 (その他) B : 青色, BW : 青白色, G : 緑色, PK : 桃色, Y : 黄色 BL、BLB : 紫外線放射, NU : 紫外線防止用 (退色防止用)</p> <p>(4) 始動補助に関する構造上の相違を示す /M : ガラス管内面に透明な導電性被膜を施したもの /A : ガラス管外面に恒久的撥処理 (シリコンコーティング) を施したものの 110W 形では外面に導電テープを貼付けたもの /M・P : 飛散防止のために外面に被膜をつけたもの /M・A : 外面導電テープタイプ /J : ガラス管外面に金属ストライプを施し、 これと器具とを接続することを必要とするもの</p> <p>(5) 節電設定の定格ランプ電力を示す (ワット)</p> <p>(6) 5 色発光形蛍光ランプを示す記号</p>
	<p>5 ○ Hf 蛍光ランプ (例) <u>FHF</u> <u>32</u> <u>EX-N</u> (高周波点灯専用形蛍光ランプ) (1) (2) (3)</p>
記号	<p>(1) ランプの種類及び形状を示す FHF : 直管形高周波点灯専用形, FHC : 環形高周波点灯専用形</p> <p>(2) 定格ランプ電力を表す数値 [16、32、50]</p> <p>(3) 光源色を示す (3 波長域発光形) EX-D : 3 波長発光形昼光色 EX-N : 3 波長発光形昼白色 EX-W : 3 波長発光形白色 EX-L : 3 波長発光形電球色 EX-WW : 3 波長発光形温白色</p>
6	<p>○ 点灯管 (例) <u>FG</u> - <u>1</u> <u>E</u> (1) (2) (3)</p>
記	<p>(1) 点灯管 (グロースタータ) を示す [FG] (2) 適合するランプの大きさの区分を示す</p>

号	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> 1 : 10、15、20、30 5 : 32、28 </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> 4 : 40、36 7 : 4、6、8、10 </td> </tr> </table> <p>(3) 口金の種類を示す P : P21 口金, E : E17/20 口金</p>	1 : 10、15、20、30 5 : 32、28	4 : 40、36 7 : 4、6、8、10
1 : 10、15、20、30 5 : 32、28	4 : 40、36 7 : 4、6、8、10		
7	<p>○ コンパクト形蛍光ランプ (例) <u>FDL</u> <u>27</u> <u>EX-N</u> (1) (2) (3)</p> <p>記 (1) ランプの種類を示す (I) スタータ形 FPL : P 形 (2 本管形) FDL : D 形 (4 本管形) FML : M 形 (4 本平行管形 A) FWL : W 形 (4 本平行管形 B) (II) ラビットスタート形 FPR : P 形 (2 本管形)</p> <p>号 (2) ランプ電力を示す (3) 光源色及び演色性を示す (3 波長域発光形) EX-D : 3 波長発光形昼光色 EX-N : 3 波長発光形昼白色 EX-W : 3 波長発光形白色 EX-L : 3 波長発光形電球色 EX-WW : 3 波長発光形温白色</p>		
8	<p>○ 電球形蛍光ランプ (例) <u>EF</u> <u>G</u> <u>15</u> <u>ED</u> <u>G</u> <u>-</u> <u>-</u> (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)</p> <p>記 (1) ランプと内蔵する安定器の種類を示す BF : チョーク形, EF : 電子回路式 (インバータ)</p> <p>(2) ランプの形状を示す G : 球形, T : 筒形, D : 発光管露出形 (グローブなし)</p> <p>号 (3) 定格消費電力を示す (ワット) (4) 光源色及び演色性を示す EL あるいは EX-L : 3 波長発光形電球色 EN あるいは EX-N : 3 波長発光形昼白色 ED あるいは EX-D : 3 波長発光形昼光色</p> <p>(5) 外観状態を示す C あるいは /C : 樹脂岩目クリヤーグローブ 記述なしあるいは /S : ガラス乳白グローブ G あるいは /GC : ガラスクリヤーグローブ</p> <p>(6) -Q : 電子スタート式を示す (7) 定格周波数を示す 記述なし : 50/60Hz 共用, /5 あるいは A : 50Hz, /6 あるいは B : 60Hz</p>		
9	<p>○ メタルハライドランプ (例) <u>MF</u> <u>400</u> <u>L</u> <u>-J</u> <u>/BU</u> <u>-P</u> (1) (2) (3) (4) (5) (6)</p> <p>(1) ランプの種類及びバルブの形状・仕上げを示す M : 透明形メタルハライドランプ MF : 拡散形メタルハライドランプ MT : 直管形メタルハライドランプ D : 透明形高演色メタルハライドランプ</p>		

記号	<p>DR : 反射形高演色メタルハライドランプ MTS : 片口金コンパクト形メタルハライドランプ</p> <p>(2) 定格ランプ電力を示す (ワット) ランプ電圧を高く設定したものは数値末尾に”B”がつく</p> <p>(3) 始動方式を示す ・L : 低始動電圧形, 無表示 : 専用安定器形</p> <p>(4) ランプの封入物の種類、及び光色または相関色温度を示す -J : スカンジウム (SC)-ナトリウム (Na) を封入していることを示す /W : 相関色温度 3000K (温白色), /N : 相関色温度 4300K (白色) -B : 青系の光色, -G : 緑系の光色</p> <p>(5) 点灯方向を示す /BU : 口金上向点灯, /BD : 口金下向点灯 /BH : 水平点灯, 無印 : 任意方向点灯</p> <p>(6) 外管へテフロン (紫外線吸収材) を塗布していることを示す (ただし 100-L-J は-P は付きませんがテフロンを塗布しています。)</p>
10	<p>○ 高圧ナトリウムランプ (例) $\frac{NH}{(1)} \frac{360}{(2)} \frac{F}{(3)} \frac{D}{(4)} \frac{L}{(5)}$</p>
記号	<p>(1) ランプの種類及びバルブの形状を示す NH : 一般形高圧ナトリウムランプ, NHR : 反射形高圧ナトリウムランプ NHT : 直管形高圧ナトリウムランプ</p> <p>(2) 定格ランプ電力を示す (ワット)</p> <p>(3) 拡散物質の塗着を示す [無表示 : 塗着なし]</p> <p>(4) 演色性の違いを示す 無表示 : 一般形 (Ra25) D : 演色改善形 (Ra60) SD : 高演色形 (Ra85) D : 高彩度形 (Ra78)</p> <p>(5) 始動方式を示す 無表示 : 外部始動器系, ・L : 低始動電圧計</p>
11	<p>○ 高圧水銀ランプ (例) $\frac{HF}{(1)} \frac{400}{(2)} \frac{X}{(3)} \frac{T}{(4)} \frac{C}{(5)}$</p>
記号	<p>(1) ランプの種類及びバルブの形状・仕上げを示す H : 一般形透明水銀ランプ HF : 一般形蛍光水銀ランプ HG : ボール形透明水銀ランプ HGF : ボール形蛍光水銀ランプ HRF : 反射形蛍光水銀ランプ</p> <p>(2) 定格ランプ電力を示す (ワット) ランプ電圧を高く設定したものは数値末尾に”B”がつく</p> <p>(3) 蛍光物質の種類を示す 無表示 : 透明, X : 一般蛍光形, X-S : 白熱色蛍光形</p> <p>(4) 屋外使用できることを示す</p> <p>(5) 特定条件の使用に対して設定したランプを示す C : 低温用 (寒冷地向), D : 調光用</p>
12	<p>○ チョークレス水銀ランプ (例) $\frac{BHRF}{(1)} \frac{100-110V}{(2)} \frac{160W}{(3)} \frac{T}{(4)}$</p>
	<p>(1) ランプの種類及びバルブの形状・仕上げを示す</p>

<p>記号</p>	<p>BH : 一般形透明チョークレス水銀ランプ BHF : 一般形蛍光チョークレス水銀ランプ BHG : ボール形透明チョークレス水銀ランプ BHGF : ボール形蛍光チョークレス水銀ランプ BHRF : 反射形蛍光チョークレス水銀ランプ</p> <p>(2) 使用電圧範囲を示す (ボルト)</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">100-110V : 105(定格電圧)±5V</td> <td style="width: 50%;">200-220V : 210(定格電圧)±10V</td> </tr> <tr> <td>200V : 200(定格電圧)±10V</td> <td>220V : 220(定格電圧)±10V</td> </tr> </table> <p>(3) 定格電圧でのランプ電力を示す (ワット) (4) 屋外使用できることを示す</p>	100-110V : 105(定格電圧)±5V	200-220V : 210(定格電圧)±10V	200V : 200(定格電圧)±10V	220V : 220(定格電圧)±10V
100-110V : 105(定格電圧)±5V	200-220V : 210(定格電圧)±10V				
200V : 200(定格電圧)±10V	220V : 220(定格電圧)±10V				
<p>13</p>	<p>○ 高効率ナトリウムランプ (例) $\frac{NX}{(1)} \frac{90}{(2)} \frac{T}{(3)}$</p>				
<p>記号</p>	<p>(1) ランプの種類を示す NX : 高効率 (低圧) ナトリウムランプ</p> <p>(2) 定格ランプ電力を示す (ワット) (3) 外管形状を示す 外管先端部が凸部であることを示す</p>				