
Encyclopedia of Science and Technology
McGraw-Hill·Kodansha

世界科学大事典

講談社

5

Encyclopedia of Science and Technology

世界科学大事典

発行 昭和52年3月20日 第1刷発行
昭和54年11月27日 第3刷発行
編集 講談社出版研究所
発行者 野間省一
発行所 株式会社講談社
所在地 東京都文京区音羽2-12-21 電話東京(03)945-1111(大代表)
郵便番号 112
振替 東京8-3930
製版・印刷 凸版印刷株式会社
製本 和田製本工業株式会社
用紙 三菱製紙株式会社
表紙 東洋クロス株式会社

N. D. C. 403 498p. 31×22cm
©KODANSHA 1977 Printed in Japan
落丁本、乱丁本はおとりかいたします。
3540-439558-2253 (0)

世界科学大事典

5

ケ-コウセ

McGRAW-HILL ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1971,
McGRAW-HILL YEARBOOK OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1971,
McGRAW-HILL YEARBOOK OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1972,
by McGraw-Hill Book Company Inc.

Japanese translation rights arranged through Charles E. Tuttle Co., Inc., Tokyo.

ケ

毛(哺乳類)～検流計

毛(哺乳類) け(ほにゅうい)

〔Hair (mammal)〕 互に強固に接着している角質化した細胞からなる非生命構造物。毛は哺乳類の皮膚にのみ見られる。毛が哺乳類の著しい特徴の1つであるため、脊椎(脊)動物の哺乳類に相当する綱に、有毛動物(Pilifera)という言葉をつけることが提案されているほどである。毛は皮膚の生産物であって、毛包(毛囊)の底部(毛母基)にできる表皮細胞から生ずる。毛包は、真皮を通して下方へ伸長し、最深部で球形に広がった毛根の表皮細胞をおおっている(Fig. 1, 2)。毛包は、すぐ近くに生じる皮脂腺とともに皮脂腺系を形成している(Fig. 3)。毛幹は皮膚の上に出ている部分で、毛母基で、多数の細胞が急速に増殖して毛が伸長する。→皮脂腺；皮膚

構造 毛幹は、クチクラ、毛皮質、毛髓質の、3つの部分からなっている(Fig. 4)。クチクラは、毛幹の外部をおおっており、かわらのように重なりあった1層の鱗(鱗)である。鱗の重なっていない部分のふちは、毛の先端に向いている。毛の大部分を形成する中層(毛皮質)

は互に強く接着していて、縦に並んだ紡錘形の長い細胞からなる。毛の色は、毛皮質細胞の中に一直線に並んでいる色素による。毛の中心部は毛髓質である。毛髓質は、毛皮質ほど濃密でなく、互にゆるく結合している細い細胞からなっている。毛髓質は、連続的であることもあるし、不連続的で断片化していることもある。毛の光沢や色調の大部分は、毛髓質から反射される光によって



Fig. 2 毛包の下半分の縦断面写真

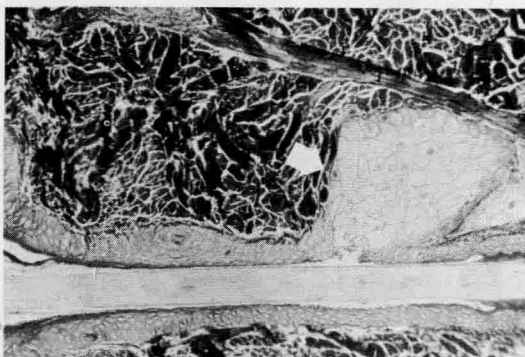


Fig. 3 毛包と皮脂腺(矢印)を通る断面の写真

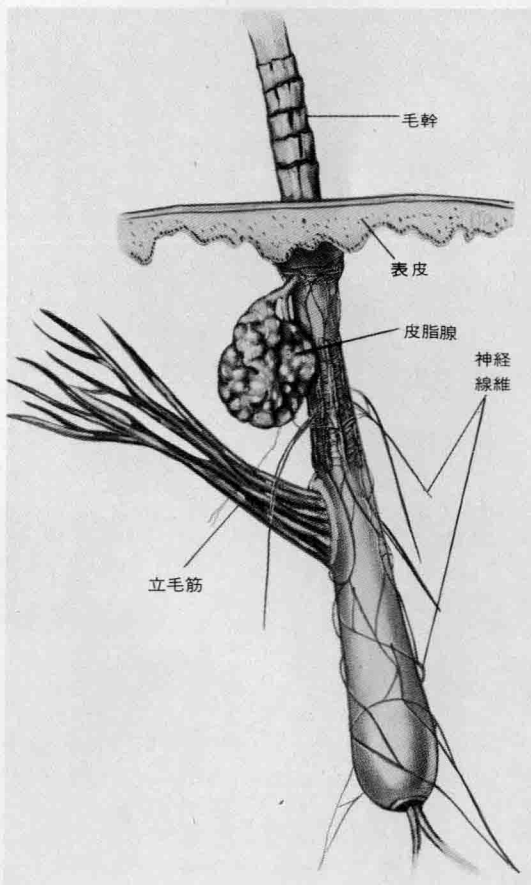


Fig. 1 ヒトの毛包と付属構造物

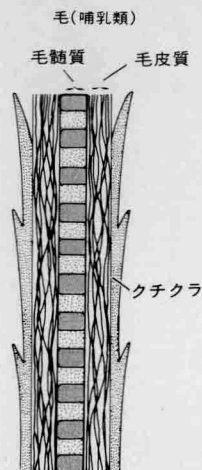


Fig. 4 毛幹の縦断面

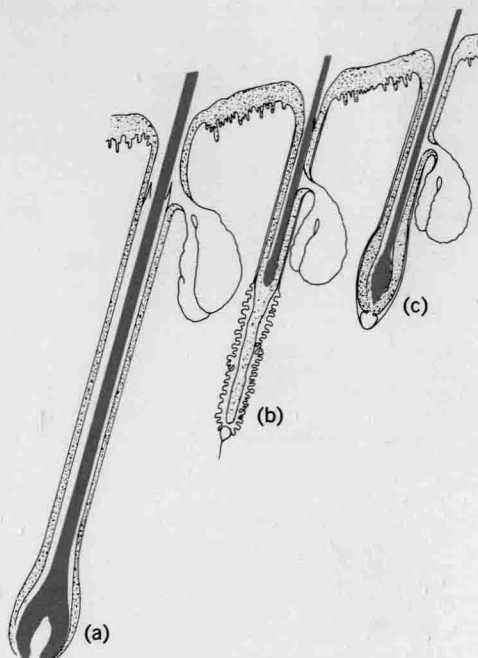


Fig. 5 毛成長周期の各段階 (a)成長期. (b)中間期. (c)休止期.

決定される。

成長と交替 毛包は毛を連続的に生成することではなく、成長期と休止期が、交互になっている。これら2相の間に、毛幹と毛包は通常毛周期と呼ばれる特徴ある変化をする(Fig. 5)。毛周期は、新しい毛の形成と成長に始まり、休止期を経て、同じ毛包から他の新しい毛が成長するまでの期間、と定義されている。このように、毛の成長は周期的である。各周期は、毛包が毛を生成している成長期と、死んだ単なる棒のように、毛が毛包に保持されている休止期とからなる。成長期は、3年あるいはそれ以上の長期にわたる場合(例えばヒトの頭髮)や、12日ほどの短期間の場合もある(例えばネズミの腹部の毛)。

毛は永久的な構造物ではなく、動物の一生の間、常に作り変えられている。いくつかの哺乳類では、この毛の交替が波状のパターンとなって起る。すなわち交替は、体の1部位に始って他の部位に広がり、その結果ある部位のすべての毛が、毛周期の同じ相にあることになる。このような交替の波状パターンは、ダイコクネズミ、ハツカネズミ、チョウセンネズミ、チンチラ、ウサギのような哺乳類にみられる。他の哺乳類、例えばヒトやネコ、モルモットでは、各毛包の毛周期が独立している。その結果、ある特定域における毛は、それぞれ異なる成長周期の相にあることになる。連続的な毛包活性をもつ唯一の哺乳動物は、オーストラリアのメリノヒツジだけである。

分類と機能 毛髪系は、形態および機能とも非常に多種多様に変化している。

〔ヒト〕 ヒトには3種類の毛がある。すなわち、胎児のうぶ毛、軟毛、終毛である。この3種は、大きさ、出現の時期、構造的変異をもとに区別される。幼児に特有な細くて色素のないうぶ毛は、成人になるにつれて太くて粗い終毛と、徐々に交替する。この2種の毛の中間にある軟毛は、最初、体の特定の部分に生じるが、成長するにしたがってそれらもまた、結局終毛に変わってしまう。

〔他の哺乳類〕 ヒト以外の哺乳類では、毛はおおよそ2つの型に分類される。すなわち、特殊化した直立性組織を伴っている毛(震毛など)と、それを伴っていない毛である。前者(血洞毛^{ワタ}、震毛と呼ばれる)は、ヒト以外のすべての哺乳類にみられる。これらの毛は、実際上著

しく感覚器的で、網の目のようにこみいった豊富な神経線維をもち、血液を含んでいて直立性器官として機能する落ちこんだ洞溝に囲まれている。こうした毛は、通常くちびるにみられる。

第2の型の毛は、大なり小なり保護的、防御的な機能をもっている。これらの毛は、大きさや長さ、固さによって、さらに区別される。保護毛は太くて固いが、下毛は通常細くてやわらかい。保護毛には、ヤマアラシの太い針毛から、ブタの固くて太い剛毛までである。下毛は保護毛のまわりに配列しており、一様に短くてむく毛や動物の柔毛に似てやわらかい。

大部分の哺乳動物では、毛のおおいは少数の異なった型の毛でできている。毛衣あるいは外被は普通、保護毛でできている外側の防御膜と、むく毛あるいは柔毛からできている下膜とで構成されている。

〔機能〕 毛は、多くの機能をもっている。第1に体温を保つのに重要な役割を果たしている。毛はまた、カモフラージュにも役立っているだけでなく、鋭敏な感覚器官であると同時に、有効な防御壁でもある。→体温調節；保護色；哺乳綱

[LUIGI GIACOMETTI]

珪亜鉛鉱 けいあえんこう

〔Calamine〕 異極鉱としても知られている亜鉛鉱物 $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ か、薬品や化粧品に使用されている酸化亜鉛を意味する用語。→亜鉛；異極鉱

[E. EUGENE WEAVER]

傾圧場 けいあつば

〔Baroclinic field〕 空気の密度または比容が圧力のみ関数になっていないとき、その質量場と気圧場の関係を傾圧であるという。傾圧場にはソレノイドがあり、等圧面上で温度傾度が存在する。したがって地衡風は垂直方向に風速傾度をもつ。低気圧や高気圧の強い発達には、傾圧場の強い所に限られている。前線は傾圧場が局所的に強くなっている所を示している。→嵐(^{ハルカ})；風；前線；ソレノイド(気象学)；地衡風

[FREDERICK SANDERS]

珪華 けいか

〔Siliceous sinter〕 温泉周辺にできる多孔質のケイ酸の沈殿物。色は白色から淡灰色で、しばしばもろいことがある。ゲイゼライトは間欠泉の周辺にできるケイ華の1変種である。ケイ華は高温の地下水が地表に出て冷却したとき、地下深部で取込んだケイ酸が過飽和になって沈殿してできたものである。温泉の周辺のたまりに生息する藻類上に沈殿することが多い。→温泉；間欠泉

[RAYMOND SIEVER]

珪灰石 けいかいせき

〔Wollastonite〕 $CaSiO_3$ の組成をもつイノケイ酸塩鉱物。三斜晶系で板状に結晶するが(図参照)、普通には塊状、あるいははがれやすい集合体ないし繊維状集合体である。

前卓面と底面に平行な2方向のへき開が良好で、のびたへき開片ができる。硬度はモース硬度計で5~5½、比重は2.85。へき開面では光沢は真珠光沢ないし絹糸状光沢、色は白色から灰色である。ケイ灰石は石灰岩中の接触変成鉱物として特徴的に産出し、透輝石、ザクロ石、透角セン(閃)石、ベスブ石および緑レン(廉)石と随伴する。ドイツのシュワルツワルト、フランスのブルターニュ、メキシコのチアパス、およびアメリカのニューヨーク州ウィルスバロー(ここではセラミック原料として採掘されている)などで大量に見られている。→ケイ酸塩鉱物

[CORNELIUS S. HURLBUT, JR.]

珪岩 けいがん

〔Quartzite〕主としてあるいは完全に石英だけで構成されている変成岩のこと。大部分のケイ岩は砂岩の変成作用によってできたものである。しかし一部には、石英 SiO_2 が交代作用によって導入された結果発達したものもあり(鉱石のケイ岩)、その場合はほかの化学成分、例えば金属やイオウを伴うことが多い。両者は、岩体の地質学的な関係と形によって識別される(図参照)。交代作用によってできたケイ岩は貫入岩体の接触産物として見いだされることが多い。→交代作用；砂岩；変成岩

砂岩からケイ岩への転移は漸移的であり、碎屑(さくせつ)性の構造のいろいろの段階の名残が見られる。ある種の砂岩は容易に完全な変成作用を受ける。しかし抵抗力が極めて強いものもあり、例えば先カンブリア界の多くの高度に変成作用を受けたケイ岩で、今なお残存構造が観察できることがある。

純粋な砂岩からは純粋なケイ岩ができるが、不純な砂岩からは種々の型のケイ岩ができる。原砂岩の凝結物は、ケイ岩中で再結晶して特徴的なケイ酸塩鉱物になり、その組成はしばしば発達の状態を反映している。

炭酸塩の凝結物は、高温の変成作用の間にケイ酸と反応してケイ酸塩鉱物をつくる。しかし、第二鉄のケイ酸塩は決して観察されることはなく、砂ばくの砂の堆積物を着色している Fe_2O_3 もいかなる程度の変成作用に対しても抵抗力をもっている。そのため、古い先カンブリア界のケイ岩は、今日のサハラ砂ばくに見られる砂と同様に赤い色を示している。

広域変成作用の条件下では、粘土でできている凝結物はケイ(珪)線石あるいはラン(藍)晶石になり、カリウムに富んだ凝結物からはカリ長石ないし雲母ができ、カルシウムとアルミニウムに富んだものからは斜長石または緑閃石(簾)石ができ、苦灰石質の凝結物からは透輝石ないし透角閃(閃)石ができ、リョウ(菱)鉄鉱の凝結物からはグリュネセン(閃)石(grunerite)ができる。また純粋な方解石の凝結物からはケイ(珪)灰石が結晶化する。この種のケイ岩は、ほかの堆積岩の層と互層をなして褶曲(しゅうきく)した層として産出する。

長石を含んだケイ岩のあるものでは、縞(しま)状構造に平行な暗色の薄い雲母質の層があるが、これは見かけ上残存層理を示しているように見える。スコットランドのモイン片岩の多くのものがこの構造を示している。しかし真の層理は、ジルコン、鉄鉱石、またはその他の重鉱物の濃縮物による薄い筋によって示されている。

接触変成作用の条件下では、原砂岩中の凝結物が再結晶化して、ホルンフェルス相の鉱物が発達する。石英自身は普通安定である。しかし、塩基性の貫入と接触する高温部では、石英はリンケイ(燐珪)石に転移することも珪灰石



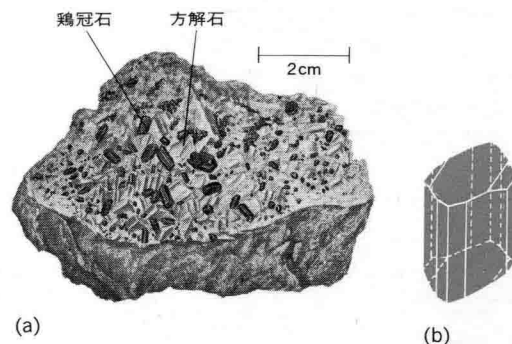
層理面での変形で発達した片理をもっているウォータールーのケイ岩 ウィスコンシン州ドッジ郡. (USGS)

ある(これはふたたび石英にもどる)。あるいは、石英が溶融することさえある。火山岩中の包有物が部分的に溶融して、その結果できたガラス化した砂岩は、ブッカイト(buchite)と呼ばれている。これはガラス化した長石の破片、石英の溶融粒、および砂岩の溶融部分に相当するかすかに色のついたガラス質の石基などを含んでいることが多い。→ケイ酸塩鉱物；石英；ホルンフェルス

[T. F. W. BARTH]

鶏冠石 けいかんせき

〔Realgar〕 AsS の組成をもち、単斜晶系に結晶する鉱物。短い、垂直に条線のある結晶(図参照)として発見されるが、普通は粒状あるいは皮殻状であることの方が多い。卓面へき開が1つある。硬度はモース硬度計で $1\frac{1}{2}$ ~2、比重は3.48。光沢は樹脂状、色は赤色からオレンジ色である。一般に鉛、銀および金の鉱石中に、石黄および輝安鉱と随伴して見いだされる。ハンガリー、チェ

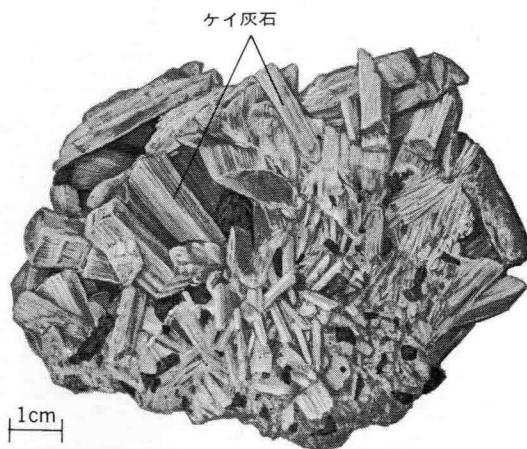


鶏冠石 (a)ルーマニアFelsöbanya産の方解石と共生した結晶(Bryn Mawr College地質学教室標本)。 (b)結晶形(Dana's Manual of Mineralogy, Wiley, 1959)。

コスロバキア、ドイツでは、銀および鉛の鉱石とともに産出している。良晶は、スイスのピンネンタール、マケドニアのアルチャールから得られている。アメリカでは、ネバダ州マンハッタン、ユタ州のメルサーで発見され、またイエローストーン国立公園では間欠泉の水から沈殿物としても見つかっている。日本では北海道定山溪、群馬県西の牧鉱山などで美しい結晶を産する。→輝安鉱；石黄；ヒ素 [CORNELIUS S. HURLBUT, JR.]

計器着陸設備(ILS) けいきちゃくりくせつび

〔Instrument landing system(ILS)〕 振幅変調された連続波で水平に偏波した固定ビームを使用して、滑走路に進入する航空機に対し、次のような援助をする設備。(1)108~112 MHz帯の周波数を使用し、滑走路中



ケイ灰石の三斜晶系板状結晶 この標本では石灰岩中に埋まっている。メキシコ、チアパスのサンタフェで発見された。(Bryn Mawr College 地質学教室標本)

4 ケイキチャクリクセツビ

心線に対する方位誘導をする超短波ローカライザビーム。(2)328.6~335.4 MHz帯の周波数を使用し、最良進入角の上下に高度誘導をする極超短波グライドスロープビーム。(3)75 MHzで運用され、接地点に対して距離基準を与える2~3個の超短波マーカビーコン。Fig. 1はこのシステムを示すものである。

1948年以来、性能基準と使用慣行が国際民間航空機関(ICA0)によって承認され、成文化されており、1963年には、ICA0は低空進入最低視程についての運用基準に関する、ILS誘導の3種のカテゴリーを定めた。

カテゴリーⅠ。最低高度60 m(200 ft)、最低視程800 m(2,600 ft, 1/2 mi)までで運用されるもの。

カテゴリーⅡ。最低高度30 m(100 ft)、最低視程400 m(1,300 ft, 1/4 mi)までで運用されるもの。

カテゴリーⅢ。雲底や視程条件により制限されない滑走路まで、および滑走路に沿って運用されるもの。

ローカライザ アンテナ列は滑走路の風上側端からさらに風上へ約300 mのところであり、接地までの誘導と滑走路に沿っての誘導を行う。アンテナシステムは、一般には多素子横長の列であるが、空港地域の自然や性能カテゴリーによって変化する。滑走路周辺および進入路の障害物からの信号の反射は、干渉、すなわち進入中の屈曲を発生する。ICA0の規制は、このような屈曲の振幅を嚴重に制限している。それで一般には、主コース誘

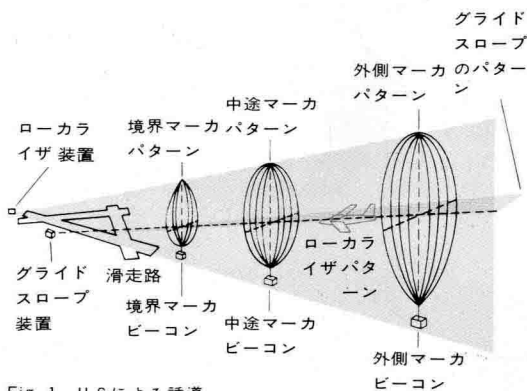


Fig. 1 ILSによる誘導

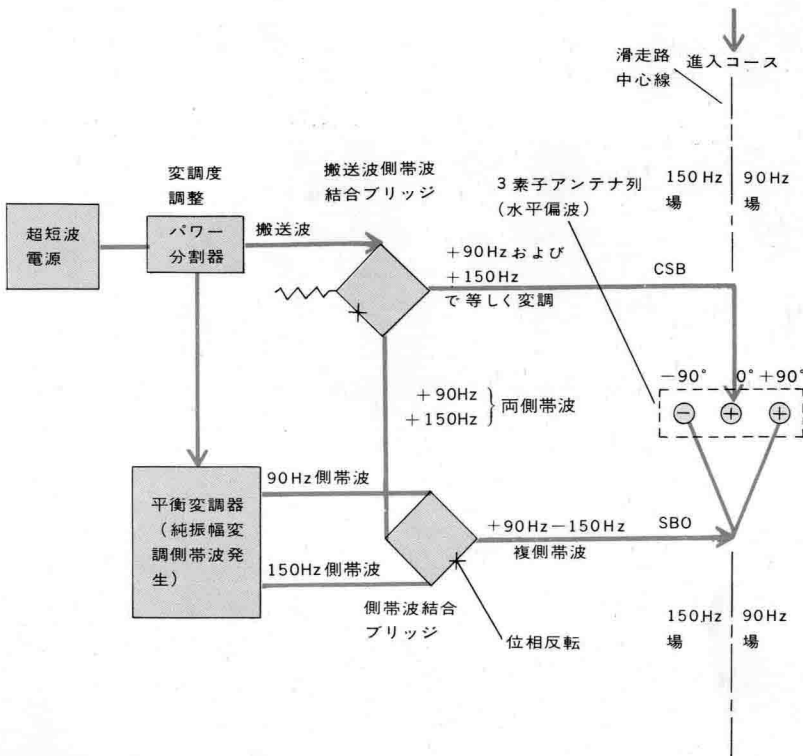


Fig. 2 ILS信号の発生および純粋全方向ローカライザアンテナの原理(ゼロ基準システム)

導信号の場を狭い方位角範囲に制限し、2次の信号システムを、クリアランス(許可)範囲を広くするように、ICA0標準によって少なくとも $\pm 35^\circ$ に発射する必要がある。

クリアランス信号は、コースシステムと同じ誘導情報を与えなければならないが、別の性質の理由により、受信機が両信号をサンプリングする場合に抑圧される。このため、ある方式では、搬送波周波数は約10kHz異なっている。最近の方式では、両信号間にある 90° の位相差が3:1のように抑圧が良好で、第2の送信機は不要になっている。

2種類の信号が電子装置の中で作られる。第1種は、90 Hzと150 Hzの複側帯搬送波(CSB)であり、第2種は、90 Hzと150 Hzの両側帯波(SBO)だけであるが、150 Hzの側帯波の位相がCSBに対応する側帯波と 180° だけ位相差がある信号である。Fig. 2に示す簡単なアンテナ列は、クリアランス範囲と背面コースを与えるために指向性の強い前面コースシステムと関連して使用されてきたものである。

CSBエネルギーは中央アンテナ素子とSBOエネルギーに等分に投入されるが、2個の外側素子とは無線周波数的に位相が反対で、外側素子1個に対する結合は反対になっている。CSB信号の位相が位相中心である。Fig. 3は、結果としての放射パターンを示す。

狭ビーム高指向性多素子アンテナ列に対して、CSBエネルギーはすべての素子に同位相で配分され、SBOエネルギーはアンテナ列の各半分に反位相で配分され、各配分は特殊な対称振幅傾度で行われる。ここでもCSBは位相中心である。Fig. 4に、この2重システムの誘導電場パターンを示す。

航空機上では、特別なスーパーヘテロダイン受信機がローカライザ信号を検出し、可聴出力のフィルターにより90 Hzと150 Hz信号を分離して、それらの振幅を比較する。両振幅が等しければ、クロスポインター計器の垂直指針は、航空機がコース上にあることを示す(Fig. 5)。正しいコースからはずれると、両音調の変調深度差(DDM)が生じ、指針は左または右に振れる。標準感度は、

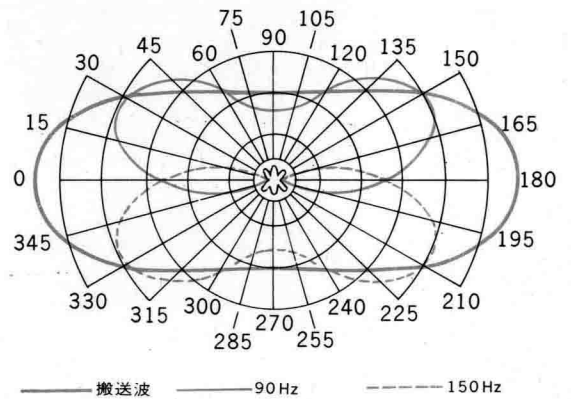


Fig. 3 ローカライザの電場パターン

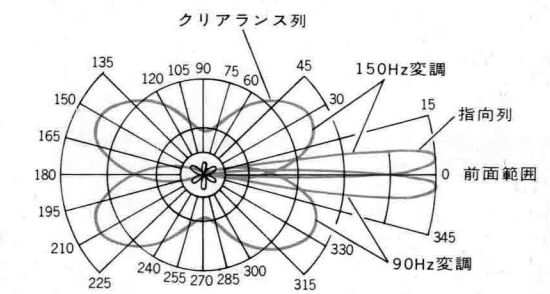


Fig. 4 前面からの進入に対する指向性パターンとその他の範囲に対する誘導を示すローカライザ電場パターン(2重システム)

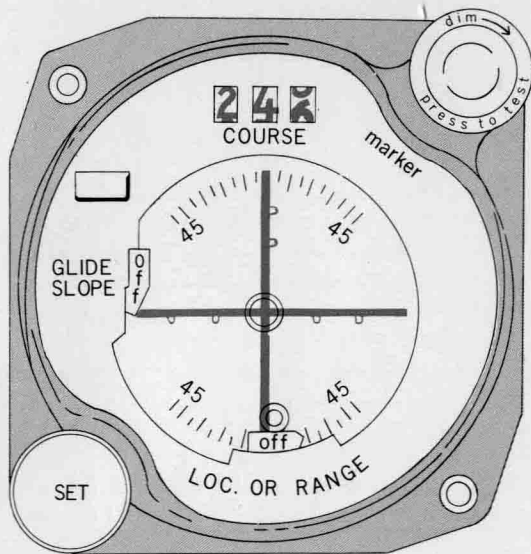


Fig. 5 クロスポインター指示計 右上隅にマーカビーコンランプがある。

滑走路進入口で側方 ± 350 ft (105 m) 偏差が指示計の指針振れ全範囲に相当する程度である。10,000 ft (3,000 m) 滑走の場合、この偏差は方位約 $\pm 2^\circ$ に相当し、指針振れは角度偏差に比例する。

指針に関連しているのは、俗に旗と呼ばれ、90 Hz と 150 Hz の信号の和で作動する、OFF と書かれた警報器である。この旗は 2 個の状態を弁別する。すなわち、信号が全然受信されないでオンコースになっているとき(旗が現れる)と、信号がすべて存在し正常なときのオンコース状態(旗がかくれる)とである。

グライドパス ローカライザと同じ型の信号を使用する。垂直面内では線形 DDM 構造が必要で、ゼロ DDM は、一般に 2.5° または 3° の、所望のグライドパス角で発生する。したがって、よく使われるアンテナシステムは 2 個または 3 個の垂直列であって、水平地面の前面からの信号反射により、垂直面内でローブ(耳たぶ形)状の電場パターンを作る。

相対的ローブ形は、アンテナ素子の高さ、DDM 構造を定めるいろいろなパターンの組合せで決る。したがって、発射パターンは地面特性の変化および障害物の反射による干渉によって影響される。

アンテナ列は、滑走路から 130~165 m 側方、着陸進入口から滑走路へ入ったところに設置され、グライドパスは、滑走路中心線と進入口の 15 m 上方で交わる。航空機内では、ローカライザと同じ方式で、別の受信機がグライドパス信号を受信する。標準 DDM 感度は、進入口高度において ± 3.6 m 垂直変位したときの角度偏差に対して、計器の水平指針が上下に全範囲振れるようになっている。

設置場所による変化と飛行経路の屈曲を防ぐため、4 種の地上アンテナ列、すなわち、等信号、ゼロ基準、側波基準、捕捉(※)効果のアンテナ列がある。これらの中で最も簡単で好まれるゼロ基準アンテナ列は、非対称的で、DDM 構造の直線性が少なく、地上変化に影響されやすく、しかも屈曲も多い等信号方式にとって代ってしまった。

Fig. 6 のゼロ基準アンテナ列は、高さ h および $2h$ の 2 個のアンテナ素子を使用している。CSB 信号は低い方の素子から発射し、その最初のローブのピークはグライドパス角 θ で生じる。高い方の素子から発射される SBO 信号は、CSB ロープの空間で 2 個のローブを発生し、その第 2 ロープ位相を反転してグライドパス角でゼロ信号を発生する。結果としての DDM 構造は対称で、直線性がよく、地面効果による影響も少ない。

2 素子側波基準および 3 素子捕捉効果アンテナ列

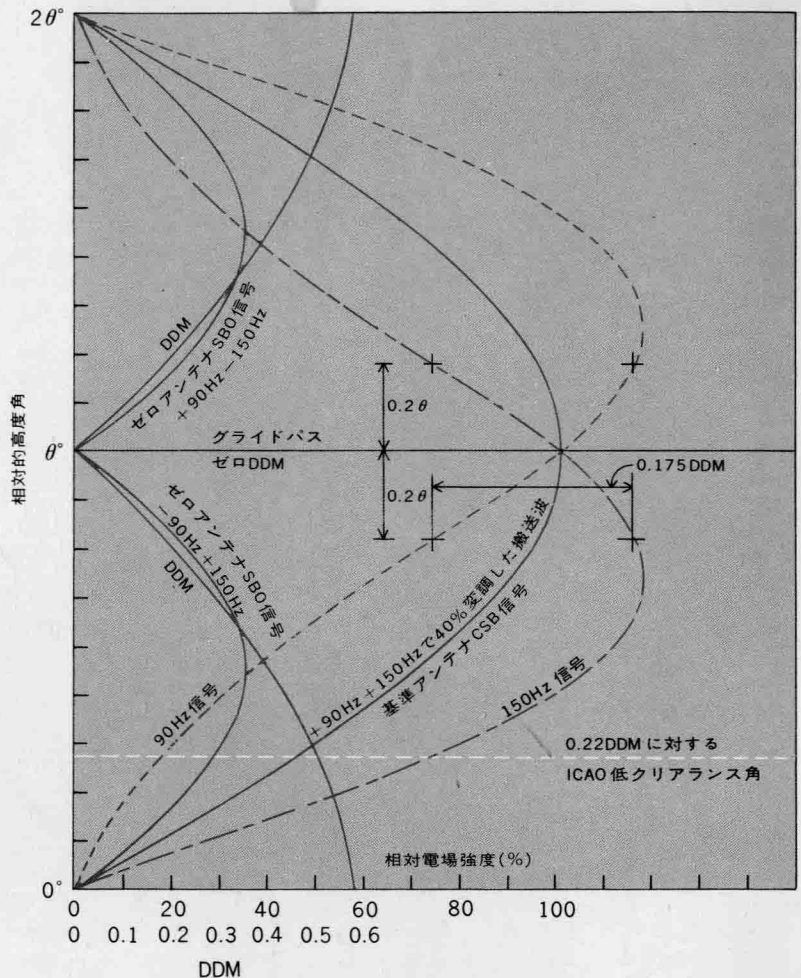


Fig. 6 ゼロ基準グライドパスアンテナ列の複合垂直発射パターン SBO 振幅は実際値の 2.5 倍になっており、CSB 曲線の 40% 変調レベルに標準化されているため、搬送波のレベルを示す(ただし、最大 ICAO 感度状態)。

は、ゼロ基準から発達したもので、同様な DDM 構造をもっている。前者は高さが低く、前面地域が短くて谷になっているような場所に向き、後者は高さが高く、屈曲可能性が極めて小さく、多重反射の危険がある場所に向く。

最近開発された多素子横長アンテナ列は、地面にほとんど影響されない。これは、水平ダイポールを垂直に重ねたもの、あるいは導波管スロット(間隙)を垂直にならべたもので、高さは少なくとも 20 m あり、ローカライザアンテナ列と同様に、電力を加えて CSB および SBO 信号の極めて狭い主ビームを発生し、地面とはほとんど無関係である。このアンテナは後方へグライドパス角だけ傾き、その角で CSB ピークと SBO ゼロが生じる。

マーカビーコン 2 個ないし 3 個のビーコンが、進入経路に沿った位置を示すものである。外側マーカは滑走路進入口から 7.2 km にあり、400 Hz で変調されている。中途マーカは 1,050 m にあり、1,300 Hz で変調されている。カテゴリー II の進入に使用される内側(境界)マーカは、グライドパスと高度約 30 m で交わり、また滑走路が見えないときの復行(やり直し)決断高度を定めることができるようにしたもので、3,000 Hz で変調されている。

発射パターンの形が定められており、進入中の航空機上でその信号を受信し、異なる時点でコースランプを点灯させて、どのビーコンの上を飛んでいるかわかるようにしてある。これとは別に、水晶制御された受信機が使用され、ろ波された出力で点灯し、かつビーコン変調音によって音声識別できるようにしてある。→航法方式(電子); 精密進入レーダ(PAR)

[FRANK H. TAYLOR]

計器用変成器 けいきようへんせいき

[Instrument transformer] 測定と制御回路のために特別に設計された変成器。計器用変成器の目的は1次電圧あるいは電流をリレー、メータあるいはその他の測定器の使用に適した2次の値に変換することにある。第2の目的は高電圧の1次回路を測定回路より絶縁することである。かくして、測定装置の構造と、このような装置の人的使用に対する保護は、計器用変成器の使用により大いに簡単化される。計器用変成器の基本的エレメントのスケッチとそのベクトル図をFig. 1に示した。→変圧器

計器用変成器には、高度の安定性と信頼性を保証するために、特別な設計技術と材料が用いられる。これは、誤動作は測定の実用分野において経済的ロスを、リレーの実用分野では電力系統の破壊をもたらすことがあり得るからである。

計器用変成器には2つの一般的タイプがあり、電圧の

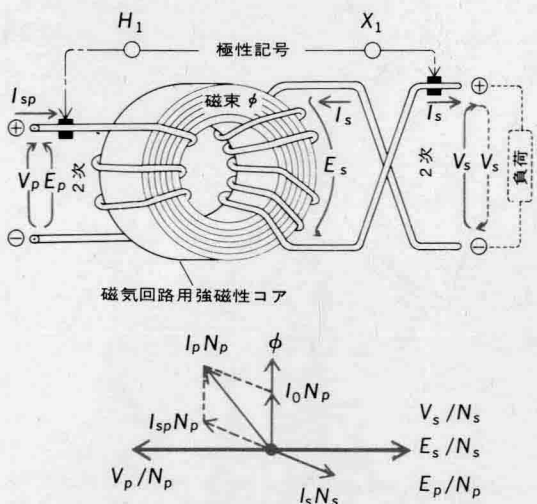


Fig. 1 簡単な計器用変成器とそのベクトル図 鉄損成分とインピーダンス降下は図より省いた。(Applied Electrical Measurements, Wiley, 1956)

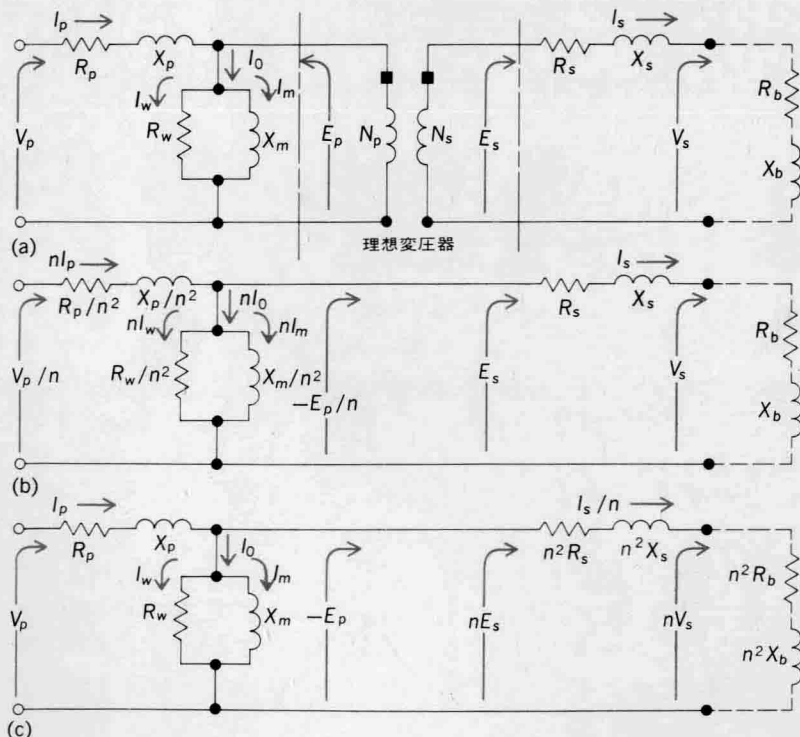


Fig. 2 計器用変成器の等価回路 (a)理想変圧器、(b)すべての値を2次に換算した場合、(c)すべての値を1次に換算した場合。(Applied Electrical Measurements, Wiley, 1956)

測定に用いられる計器用電圧変成器と電流の測定に用いられる計器用電流変成器である。電圧変成器(変圧器)の1次側は送電線路に接続され、巻線を通る電流によってコアに磁束がつくられる。このコアは1次と2次巻線の両方と鎖交しているため、2次回路に電圧が誘起される。1次と2次電圧の比は1次と2次巻線の巻数にほぼ比例する。一般に1次に定格電圧が印加されたときに、2次の端子に115Vあるいは200Vの電圧が発生するように、巻数比が選ばれる。

電圧変成器と電流変成器の違いは、電流変成器(変流器)の1次巻線が線路と直列接続されることにある。1次と2次の電流の比は1次と2次の巻数の比にほぼ逆比例する。一般に1次側の定格電流によって5Aの2次電流が発生する。

計器用変成器は、その応用によって物理的構造が異なるので、非常に異なったものになることがある。電圧変成器は普通の電力変圧器あるいは配電変圧器と非常に似た配置をもつ磁気コアとコイルを有している。コアが連続的に高磁束密度で動作するので、良好な磁気設計を必要とすると同時に、主たる熱の発生源でもある。したがって、有効な放熱を得るために、シェル型の構造とするのが普通である。

電流変成器では、磁束密度は線路電流の関数であり、線路事故による過渡現象を除けば、その値は一般にたいへん小さい。鉄損は無視でき、巻線が主たる発熱源である。したがって、一般にコア型の構造が用いられる。

特殊な絶縁物、例えば耐アーク性のブチルゴム(butyl rubber)が、必要な信頼性と安全性を確実にするために、巻線の絶縁物として開発された。

計器用変成器は表示変圧比で表示する。この変圧比は巻数比とは異なり、実際の出力と入力との比を、より正確に表示するものである。しかし、実際の変圧比は負荷、周波数、温度変化とその他の要素で変化するので、表示変圧比は、特定の動作条件で正しい変圧比を与えるために、補正係数を乗じなければならない。

動作原理 計器用変成器は理想変圧器に近いもので、それらの動作原理も理想変圧器を研究することによって説明される。理想変圧器との実際上の相違を考慮して等価回路がつくられ、これによって多くの計器用変成器の問題の解析が可能である。

理想的な計器用変成器において、出力電圧あるいは電流は、入力電圧あるいは電流に対して振幅において正確に比例し、位相において正確に反転している。これは鉄損と巻線損および抵抗電圧降下とリアクタンス電圧降下がないことを意味する。すべての磁束が1次および2次巻線と鎖交する。

変圧器に交流電圧が印加されると1次電流が流れ、そしてコアに交番磁束φが発生する。鎖交磁束の変化dφ/dtによって1次と2次巻線におのおの同値の交流起電力eが誘起される。完全な巻線に対して誘起電圧は-N(dφ/dt)になる。ここでNは巻数である。

印加電圧が正弦波の場合、次の式(1)によって示されるように、理想変圧器内の瞬時磁束の値φは最大値φmで正弦的に変化する。起電力は式(2)で示される。電圧の実効値は式(3)で示される。ここでfは周波数である。

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \tag{1}$$

$$e = -\phi_m N \omega \cos \omega t \tag{2}$$

$$E = 4.44 \phi_m N f \tag{3}$$

この誘起電圧は印加電圧と巻線数だけによって決まる。これは他の電圧降下がないからである。1次の誘起電圧Epは印加電圧Vpを打消さなければならないので、式(4)で与えられた関係によって示されるように、2次を含むすべての巻線の極性が決まる。

$$E_p/E_s = -V_p/V_s = N_p/N_s \tag{4}$$

計器用変成器には次の極性記号がつけられている。す

なわち、1 次側の H 端子に電流が流れ込むと、2 次では X 端子より電流が流れ出る。そして H が正であれば、X も正である。

理想変圧器の 2 次回路を閉じて、2 次電流 i_s が流れると、起磁力 $\mathcal{F}$ によってコア内に磁化力 H が発生する。起磁力と磁化力はおのの式 (5), (6) で計算される。ここで N_s は 2 次巻数、 l は磁気回路長である。

$$\mathcal{F} = N_s i_s \quad (5)$$

$$H = N_s i_s / l \quad (6)$$

この磁化力は 1 次のそれを完全に打消すことが必要で、これは、理想変圧器では、励磁磁束は存在しないからである。これは式 (7) に示されているが、これより式 (8) が導かれる。

$$N_s i_s / l = -N_p i_p / l \quad (7)$$

$$i_p / i_s = N_s / N_p \quad (8)$$

$-N_p / N_s$ を n とおくと、式 (9) から式 (11) が得られる。

$$i_s = i_p n \quad (9)$$

$$E_s = -E_p / n \quad (10)$$

$$V_s = V_p / n \quad (11)$$

2 次回路が閉じている場合は、2 次電流は V_s / Z_b である。ここで Z_b は 2 次負荷(負荷とそのリード線)で、抵抗 R_b とリアクタンス X_b からなる。

実際の計器用変成器は Fig. 2a で示された回路で等価できる。磁気回路での励磁磁束をつくるために、ある程度のアンペア回数(起磁力)が必要である。 N_p 巻線を通れる電流 i_p がこの磁束をつくる。この電流は磁化成分 I_m と渦電流およびヒステリシス損成分 I_w からなる。これらは等価回路において、おののリアクタンス X_m と抵抗 R_w によって模擬されている。変圧器巻線は R_p と R_s で示される抵抗をもち、磁氣的漏れは X_p と X_s で示される小さなリアクタンスになる。理想変圧器を取除き、すべての値を 2 次回路の値に変換したときの等価回路は Fig. 2b に示され、1 次回路に変換されたものは Fig. 2c に示されている。

1 次から 2 次へ値を変換するときの規則は、(1) I_p に n を乗じる、(2) V_p と E_p を n で除す、(3) Z_p , R_p と X_p を n^2 で除すことである。

変圧器の磁化特性は非直線であるが、これらの等価回路は変圧器の動作を説明するのに十分である。静電容量の効果も存在する。これらは 100 Hz 以上の周波数では考慮されなければならない。そして周波数の関数として X_m と R_w の値を変えることが必要である。

精度 電圧変成器の精度は 1 次と 2 次の電圧降下の大きさに依存する。2 次が開放の場合、唯一の電圧降下は励磁電流によるものである。負荷がある場合、全体の動作の変化は 1 次と 2 次の両方に負荷電流による電圧降下を加えることによって得られる。電圧変成器は低励磁電流と低巻線インピーダンスになるように設計される。

電流変成器において、2 次と 1 次電流間の差は励磁電流である。したがって、変圧比と位相角に小さい誤差が基本的に存在する。これらの誤差は 1 次電流とともに変化し、精度を増すために多くの補償手段が用いられてきた。

励磁電流と鉄損電流を少なくするために、特別な成層磁性材料が用いられ、変成器の損失を減らすのに特別な技術が用いられる。

市販の計器用変成器は極めてよい精度をもち、そして製造業者はいかなる小さい誤差をも包含した校正曲線を提供している。変圧器、調整器、リアクトルに対するアメリカの標準規格(ASA C57)は、特定の負荷に対する精度の階級を規定し、ある階級の変圧器に対して標準精度以内に誤差が取るようにしている。より精密な測定に対しては、直接法あるいは標準変圧器との比較によって変圧比と位相角を精密に測定することもできる。—電気測定 [ISAAC F. KINNARD]

珪クジャク石 けい—いし

[Chrysocolla] $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の組成をもつケイ酸塩鉱物。小さい針状の結晶が発見されているが、普通には不純な隠微晶質の貝殻状断口をもつ皮殻および塊として産する。硬度はモース硬度計で 2~4 と変動があり、比重も 2.0 から 2.4 の範囲で変る。光沢はガラス状で、普通緑色から緑青色であるが、不純なものではかっ色から黒色までである。ケイクジャク石は銅鉱床の酸化帯に産する 2 次的な鉱物で、クジャク石、ラン(藍)銅鉱、自然銅、赤銅鉱と随伴する。銅の鉱石であるが、あまり重要ではない。 [CORNELIUS S. HURLBUT, JR.]

経験的方法 けいけんてきほうほう

[Empirical method] 経験的方法(または実験的方法)という言葉はあまりはっきりとは定義できない。その一般的な特徴は、意味づけについて多くの考察をする前に、また期待されるものについて多くの見解をもたないで、多数の観測事実を集積するということである。そして、それは期待されるものをあらかじめ理論的に探求してから実験結果を集積するというもっと理論的な方法と対照される。実験的方法はそれまでまったく探究されなかった分野に入っていくのに必要であり、分野を獲得した支配範囲が大きくなればなるほど、ますます純実験的ではなくなっていく。まったくの実験的な方法を使って成功するには、熟練家の高度の直観的能力が要求される。 [PERCY W. BRIDGMAN / GERALD HOLTON]

けい光 けいこう

[Fluorescence] けい光とは、発光体へある種のエネルギーが流れこむことによっておこるルミネセンス発光で、この発光は励起エネルギーの供給が止るとただちに消失するようなものであると一般に定義されている。少しあいまいさは残るがこの定義をもう少しはっきりさせると、発光の減衰時間、すなわちアフターグローは原子における許容放射遷移の自然寿命の程度ということになる。そしてこの寿命は可視光領域の遷移については 10^{-8} sec ぐらいである。けい光とそれに対照的なりん光とを区別するよい方法は、減衰時間の長さで判断するのではなく、けい光の減衰には温度依存性がないという基準で決めるのがよいだろう。この基準から考えると、ウラン化合物や希土類活性体のような物質からのルミネセンス発光はりん光というよりもむしろ「ゆっくりとしたけい光」と呼ばれてもよい。これらのルミネセンスの減衰は 10^{-8} sec どころではなく、msec ぐらいの間におこる。しかもこの減衰は、かなりの温度領域にわたって温度依存性がなく、下の式のように指数関数的な減衰則に従っている。

$$I = I_0 \exp(-t/\tau_i)$$

この式によれば原子が単位時間当りに遷移確率 $1/\tau_i$ をもてば、原子の励起状態から基底状態へ電子が自発的に遷移することが期待される。この式において I は時刻 t におけるルミネセンスの強度で、 I_0 は $t=0$ での強度である。エネルギーを流出する他の遷移がおこるため、ルミネセンスの効果がおちるような高い温度では、非放射遷移の単位時間当りの遷移確率を $1/\tau_{\text{diss}}$ とすると、 $1/\tau_{\text{obs}} = 1/\tau_i + 1/\tau_{\text{diss}}$ となるので減衰時間に温度依存性が観測される。したがってこの点は前のけい光というものの定義と矛盾しないように取扱う必要がある。—りん光

けい光物質の減衰時間は、短いのは多くの有機結晶物質に対する 5×10^{-9} sec の程度から、長いのはユーロビウム活性化ストロンチウムケイ素けい光物質に対する 2 sec に至るまで広い範囲にわたって変化する。 10^{-9} から 10^{-7} sec の間の減衰時間をもつけい光物質は、X 線やガンマ線のような高エネルギー放射線あるいはアルファ粒子、

ベータ粒子や中性子などの高エネルギー粒子の検出や測定に用いられる。これらの高エネルギー放射線や粒子のために、ある結晶体や多くの多核芳香族炭水化物溶液あるいはまたこれらの炭水化物を混ぜた合成樹脂などにせん光(シンチレーション)がおこる。

いわゆる「けい光灯」といわれるものは可視光をつくるために気体と固体のルミネセンスを同時に使っている。けい光灯は、アルゴンと水銀蒸気の低圧の混合気体の入ったガラス管でできており、そのガラス管の内側の面はルミネセンスをおこす粉末か、あるいはこのようないろいろな粉末を混ぜ合わせたものがぬられており、両端には電極がある。放電は2つの電極間の気体を通して行われ水銀原子を励起しルミネセンスをおこさせる。この結果可視と紫外の両方の発光がおこる。ここに使われているぐらいの低圧では、けい光灯に入る電気エネルギーの約半分が水銀原子の2,537Åの特性光に変換される。管の内側へぬるものとしては、紫外線のこの波長の励起効率がいいことと、可視光ルミネセンスの色がこちらの望みになまっているという条件を満たすけい光物質が選ばれる。放電によってできる弱い可視光そのものは、ほとんどリンの被膜を通してしまい(少しではあるが)けい光灯の発光に加わっている。けい光灯の発光効率、供給される熱の大半を熱にしまわざるを得ない白熱灯に比べてそうとう高い。→けい光灯; 電磁波の吸収; ルミネセンス

[JAMES H. SCHULMAN/CLIFFORD C. KLINK]

けい光X線分析 ケイコウエツクスせんぶんせき

[X-ray fluorescence analysis] 固体および液体の化学分析に用いる非破壊の物理的方法の1つである。試料片を強いX線で照射し、これによって試料中の元素に特性X線の線スペクトルを放射させる(すなわち、けい光を発生させる)。スペクトルの各線は、分光光用の回折格子に類似の単結晶板によって、種々の角度に回折される。元素はスペクトル線の波長から同定され、これは元素の原子番号によって規則的に変化する。また濃度はスペクトル線の強度から求めることができる。計数管およびこれに関連する電気回路がX線強度の測定に用いられる。→けい光

X線回折法と異なり、元素(化合物というよりは)が同定され、試料片は結晶である必要はない。この方法は分光光法を補い、湿式の化学的あるいは物理的抽出を前もって行うことによって、ピークとバックグラウンドの比を大きくすると、非常に少ない量を検出できるが、一般には0.1%以上の濃度のものに最も多く用いられる。→X線回折

原子番号が大体12以上のすべての元素の分析が、通常の湿式化学分析法に要する時間に比べ、わずかの時間でできる。装置に必要な最初の費用を除けば、けい光X線分光法(あるいはX線分光分析法)に要する費用は少なく、通常は高度に訓練された人員も必要としない。

この方法は1913年のモーズリー(H. G. J. Moseley)の古典的業績を基にしているが、1950年ごろまではあまり利用されず、これ以降、新しいX線装置の導入によって非常に多種の分析に応用しやすくなった。装置および方法はX線粉末回折法における場合とまったく類似している。→X線粉末法

応用 けい光X線分析法は試料に前処理を行うことによって、ppm範囲の分析が可能になるが、分光分析法より感度は低い。mg量の試料中のμg量は、集中法結晶分光法を用いて、10~15%の標準偏差で定量されている。分光写真法は濃度約20%以上のものに用いるのはむずかしいが、X線法は100%まで用いることができる。

測定所要時間はわずかで、結果は通常の湿式化学分析法による結果とよく一致する。そのため多くの分野において、けい光X線法は化学的方法に取って代りつつある。

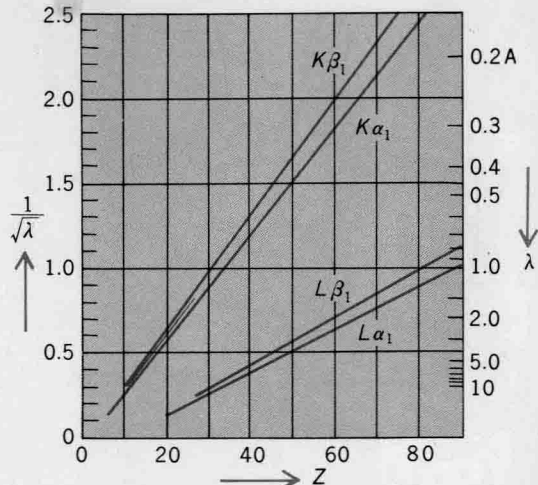


Fig. 1 モーズリーの法則のプロット図 特性X線の波長と原子番号の関係を表している。(Philips Tech. Rev., 1956)

例えば金属や金の分野において、コバルトを基にした合金中のタングステンの定量は化学的方法では24時間以上を要するが、X線法では20分でそれ以上の精度で行うことができる。この時間短縮によって、地球化学的問題のように大量の分析を必要とし、通常法では非常に費用がかかる問題も処理できるようになった。現在スピードが極めて重要な因子となっている製造工程の制御において、多くの応用が可能となっている。

けい光X線分析法は、通常の化学的方法では分離、分析がむずかしい、化学的性質のよく似た元素の混合物に対して特に有効であることが明らかにされている。この方法は鋼上のスズおよび蒸着膜のような薄い板の厚みを測るのに用いられ、混合操作の制御とともに鉱物、鉱石、合金の分析に用いられる。液体への応用も固体と同様に数が多くなっている。

原理 X線スペクトルの原因は、原子の電子がK, L, M, ... 殻内の各軌道に配置されるという簡単なボーアの模型によって理解できる。原子に十分なエネルギーを加えると、内側の殻の1つから電子がたたき出される。外側の軌道の電子が空いた内側の軌道に落ち込み、原子は正規の状態に戻る。この動きは特性X線スペクトル線、すなわち電子移動に関連する軌道のエネルギー差に等しいエネルギー量子の放射をもたらす。これに関与し得る電子軌道の数に限られているので、元素のX線スペクトルは、ずっと複雑な光スペクトルとは対照的に、比較的線数は少ない。→原子構造とスペクトル

【モーズリーの法則】 モーズリーは $1/\sqrt{\lambda}$ (λはX線の波長)と元素の原子番号Zの間に直線関係が成立することを示した。Fig. 1にX線のKおよびL線に関するモーズリーの法則のプロットを示した。K線はK殻への、またL線はL殻への電子の移動によって生ずる。K線の波長は短く、したがってエネルギーは高い。Kスペクトルには4~5本の線(Kα₁, Kα₂, Kβ₁等)が、またLスペクトルには12本あるいはそれ以上の線(Lα₁, Lα₂, Lβ₁等)がある。Mスペクトルもあるが、波長はずっと長く、X線分析法ではほとんど利用されない。電子殻の空席を満たす際のオーグメント電子の放出は、X線放射に代る過程である。→オーグメント効果

【スペクトルの発生】 特定のスペクトル発生に必要な条件は、臨界励起電圧と呼ばれるエネルギーを超えていることである。これはある原子の特定の殻から電子を除くのに必要なエネルギーである。したがって銅のL線はすべて1.1 keV以上で、K線は8.98 keV以上で、また銀のK線は25.5 keV以上で現れる。

一般的に特性線スペクトルの発生には2つの方法がある。1つは直接電子励起法で、1次励起は普通のX線管球内で、純粋な対陰極元素の焦点といわれる小さな部分に電子を集中させて行われる。発生する線スペクトルは

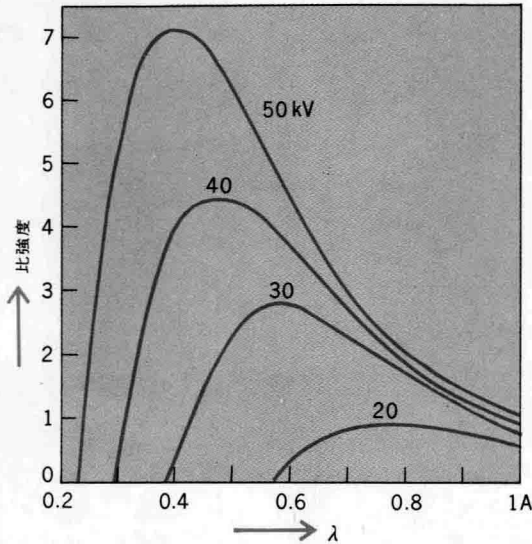


Fig. 2 種々のピーク電圧(全波整流)(電流は同じ)のもとにおけるタングステン対陰極X線管球の連続スペクトルと電流シリコン111結晶分光器とシンチレーション計数管で測定した。(Philips Tech. Rev., 1956)

対陰極材料に特有で、その強度は電圧の2乗にほぼ比例し(臨界電圧以上で)、また電流にもほぼ比例して増加する。線スペクトルの外に電子の減速の結果生ずる連続スペクトルも発生する。連続スペクトルの強度と最短波長は、Fig. 2に示すように主として加電圧に依存する。→制動放射

特性線スペクトル発生の第2の方法は、2次励起法あるいは光の場合と類似したけい光法といわれる方法である。試料片は密閉されたX線管球の外に置き、X線で照射する。試料中の元素の臨界励起電圧以上のエネルギーをもった1次の線および連続X線はすべて、元素が特性X線の線スペクトルを放射する原因となる。通常けい光スペクトルは、直接電子励起法によるスペクトル強度の1/1000程度であるが(限度は主としてスペクトル装置の幾何学的配置による)、高い強度と感度をもつ新しい装置ができ、さらに便利で簡単な操作が可能になったので、この方法は非常に実用的になってきた。けい光X線では多量の連続スペクトルは発生しないが、少量の散乱によるX線バックグラウンドは常に存在する。

〔X線吸収〕 各元素は、ある軌道の臨界励起電圧に相当する波長において、X線の吸収に急激な変化を示す(吸収端という)。元素は吸収端より高いエネルギー、すなわち短い波長のX線を強く吸収する。吸収量は波長の関数で、吸収端より下(短い波長)では緩やかに減少し、吸収端より上では再び増加する。したがって、けい光X線の発生には、吸収端よりわずかに短い波長のX線が最も効率が高く、励起波長が吸収端より離れるにつれて効率は下がる。吸収端より長い波長のX線は十分なエネルギーをもっていないので、けい光発生には効力がない。さらに、けい光への転換効果はオージェ効果などのため、原子番号の減少とともに減少する。

X線の吸収は波長の増加とともに急激に増加し、原子番号の低い元素の線スペクトルは比較的波長が長いので元素分析が非常にむずかしいか、あるいはまったく不可能である。X線管球の窓およびX線通路の空気によるX線の減衰はかなり大きく、またその波長に依存する。例えば、新しい装置の代表的な空気通路の値34 cmによって、CuK α 線(波長1.54 Å)の22%、CrK α 線(2.28 Å)の56%、KK α 線(3.74 Å)の96%が吸収される。したがって、長波長の線を用いるためにはX線通路の周囲の密閉容器内を真空にするか、ヘリウムを流す必要がある。実際には原子番号が大体24(Cr)以上の元素の分析は空気中で行い、12(Mg)までの元素の分析は真空中、あるいはヘリウムを流した通路を用いて行っている。原子番号

12以下の元素のけい光分析は、現在の装置では不可能である。

結晶分光器 試料から放射される種々の波長の線の分離には、単結晶の板が用いられる。結晶からの回折は $n\lambda = 2d \sin \theta$ (ブラッグの法則)によって起る。ここで n は反射の次数を与える小さな整数、 λ は波長、 d は反射に適切な方向を取った結晶の特定の格子面の面間隔、 θ は格子面と入射X線の間の角度である。→X線結晶学

反射は入射X線に関し 2θ の角度の方向にだけ起るから、結晶面を計数管のなす角度の半分にするという正しい角度関係を保つことが必要である。ゴニオメータは結晶を計数管の角速度の半分速度で回転し、したがってFig. 3に示すように結晶と計数管は常に試料から放射される種々の波長のX線を受けるように正しい位置に保たれる。ある d の値について、各波長の線が反射される角度はただ1つあり(各次数の反射について)、波長とともに角度は大きくなる。

分光器の分散、つまり $d\theta/d\lambda = n/2d \sin \theta$ は、 d の減少とともに増加する。したがって、単に d の小さい結晶を選ぶことによって分散を大きくすることは容易である。 $2\theta = 180^\circ$ のとき $\lambda = 2d$ であるから、 d を小さくすることは測定し得る最大波長を限定する。ゴニオメータによって達成される最大の 2θ は約 150° である。

試料からのけい光線束は平行ではなく、かなり大きな開き角をもっているが、結晶は正しく角度 θ をなす平行線束だけを常に反射する。結晶が回転するにつれて順次他の線束を反射し、これによって反射線束を平行にする。分解能を高くする、すなわち線の広がりを小さくするためには、波長が記録される角度の広がりを制限する必要がある。この目的にはFig. 3に示すように、平行あるいはソーラースリットが用いられる。これらのスリットは、ニッケル、鉄のような材質でつくられた(0.003~0.005 cm)等間隔に置かれた薄いはくからなり、その開き角は長さと同様によって決る。代表的な型は、間隔が0.025 cm、長さ10 cm、開き角 0.29° 、断面積約5 cm 2 のものである。はくの吸収は、X線が開き角以上に計数管に入るのを防ぐのに十分な値をもっている。2組の平行スリットが用いられ、1つは試料と結晶の間、他方は結晶と計数管の間に置かれる。これは分解能とピークとバックグラウンドの比を著しく大きくし、ピーク強度の損失を比較的小さくする。

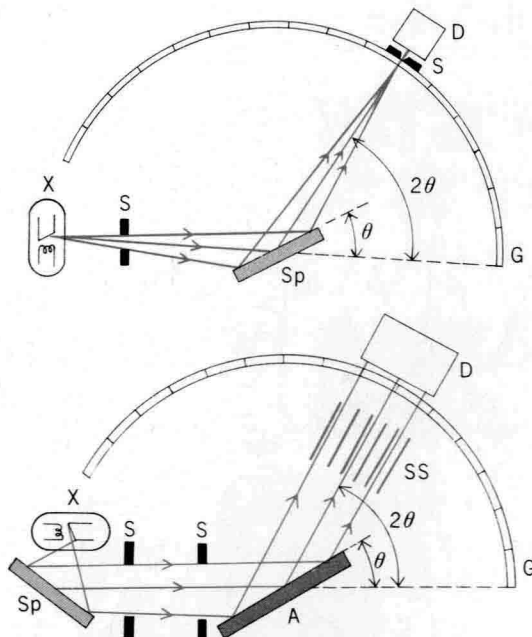


Fig. 3 X線粉末回折装置(上)と非集中(平行)型けい光分光器(下) X: X線管球, S: スリット, Sp: 試料, θ : 入射角, 2θ : 反射角, A: 結晶分光器, SS: ソーラー(平行)スリット, D: 計数管検出器, G: ゴニオメータ。

鋭く、対称性のよい反射を得るためには品質のよい結晶を得ることが必要である。結晶が均一でないと反射はゆがみ、 θ 角より少し違う角度で反射が起る。これによって種々の波長におけるピーク強度は違った割合で減少し、分析誤差の原因となる。

装置 けい光分析のためのX線分光器は次のものからなる。1次X線管球および高電圧安定電源；安全防护した試料室；結晶分光器および計数管を動かすゴニオメータ；電源、線形増幅器、シングルチャネルのパルス波高分析器、計数器、計数率器、記録計からなる計数管に対する電気回路(図では見えない Fig. 4)。

〔X線管球の作動〕 1次X線管球の対陰極(ターゲット)は通常タングステン、モリブデンあるいは銅である。対陰極に試料中の元素と同じものを用いた管球は対陰極からの線スペクトルが系によって散乱されるので、通常使われない。また、分析すべき元素の吸収端に近い特性線を出す対陰極を選ぶことが望ましい。例えばWL線およびCuK線は、第1遷移元素を励起するのにMoK線よりも効率が高い。

X線管球の焦点は直接分光器の構造に入れられない大きさである。したがって、通常回折法で用いる管球の2～3倍の大きさにつくられ、管球はそれに応じた高電圧で作動される。X線の強度は距離の2乗に反比例して落ちるので、最大の強度を得るためには、試料は管球の窓のできるだけ近くに置かなければならない。X線の発生に全波整流の脈流を用いると、電圧-時間周期の中で、臨界励起電圧を超えたときだけある波長のX線が発生するので、けい光分析では一定の直流電圧で作動させる方が大きな利点がある。例えば、ニッケル、バリウムのKスペクトルの臨界励起電圧は、それぞれ8.3 keV、および37.4 keVである。対陰極タングステンの1次X線管球を全波整流ピーク電圧50 kVで作動させると、ニッケル、バリウムのけい光強度は50 kVの直流で作動させたときの0.60、0.27にすぎない。→X線管

通常のけい光分析においては、装置は50～60 kVまでの電圧で操作される。この電圧によって希土類元素までのすべての元素のKスペクトル、およびさらに原子番号の大きい元素のLスペクトルが発生し、原子番号の大きい元素のKスペクトルの発生には100 kV、あるいはそれ以上の電圧で操作する装置が必要である。計数管が用いられるので、一定の1次X線強度を与え、電圧と管電流を安定化することが極めて重要である。

〔回折法〕 けい光分析法に用いる装置はFig. 4に示すよ

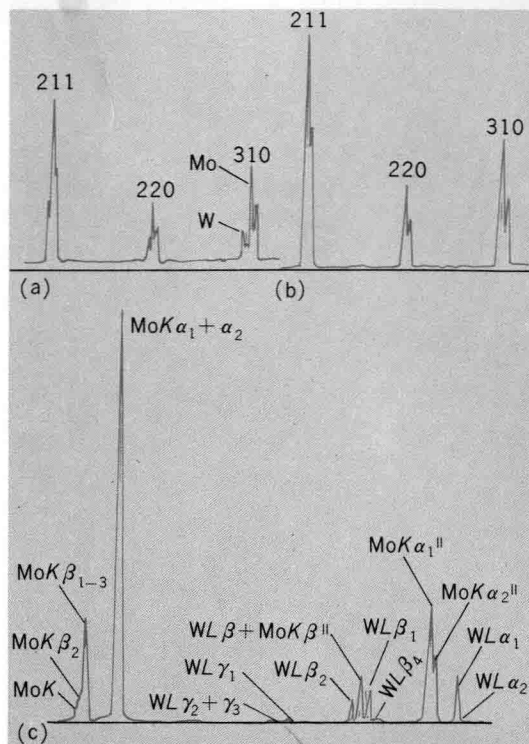


Fig. 5 (a) Mo, W混合物の粉末回折図。(b) Mo, W固溶体の粉末回折図。(c) Mo, Wのけい光スペクトル。(Svensk Kemisk Tidsskrift, 1956)

うにX線粉末回折法の装置に似ている。回折法では、多結晶の試料のすべての面間隔に相当する強度を測定するために、単一波長のX線が用いられる。回折図は、元素あるいは化合物によって特有なものとなる。Fig. 5a, 5bにX線回折装置による図を、Fig. 5cにX線けい光スペクトルを示した。Fig. 5aはモリブデンとタングステンの約2:1の混合物の、また5bはモリブデンとタングステンの固溶体の回折図である。2つの図の各反射は、2:1の強度比をもつ接近したCuK α_1 , α_2 重線によるものである。Fig. 5cはモリブデンのMoK、タングステンのWLスペクトルを示すX線けい光スペクトルである。ローマ数字は2次の反射を示す。

〔計数管〕 X線検出器としては、フィルム法よりは迅速で正確な強度測定ができるガイガー-ミュラー計数管やシンチレーション計数管がもっぱら用いられている。安定性、信頼度といったような重要な特徴のほか、けい光分析用の計数管には、高い計数率のときの補正を避けるための線形応答、最大の計数率を得るための高い量子計数効率および必要としない波長の線を識別できるような高分解能が必要である。→ガイガー-ミュラー計数管；シンチレーション計数管

強度測定 X線量子はランダム(無作為)に放射されるので、計数管を用いるX線強度の測定にはある統計的な法則を考慮しなければならない。それには3つの基礎的な方法がある。

定時計数法ではあらかじめ定められた時間 t 内で計数 N を測定するための計数回路を用い、計数率 n は $n=N/t$ から求められる。この方法は普通、利用できる時間が限られているときに用いられるが、計数率に依存する誤差があるのが欠点である。

定数計数法では、 N があらかじめ決められ、 t が変数となる。誤差は n には無関係であるが、計数率が低いときは測定に長時間を要する。定時計数法、定数計数法ともに、測定すべき線のピーク上に正しく計数管を固定するために、いちいち手で調節しなければならない。

普通行われている方法はゴニオメータを一定の角速度で回し、計数率計の出力を記録計に記すものである。この方法は、正しい強度よりピークが低くなることから

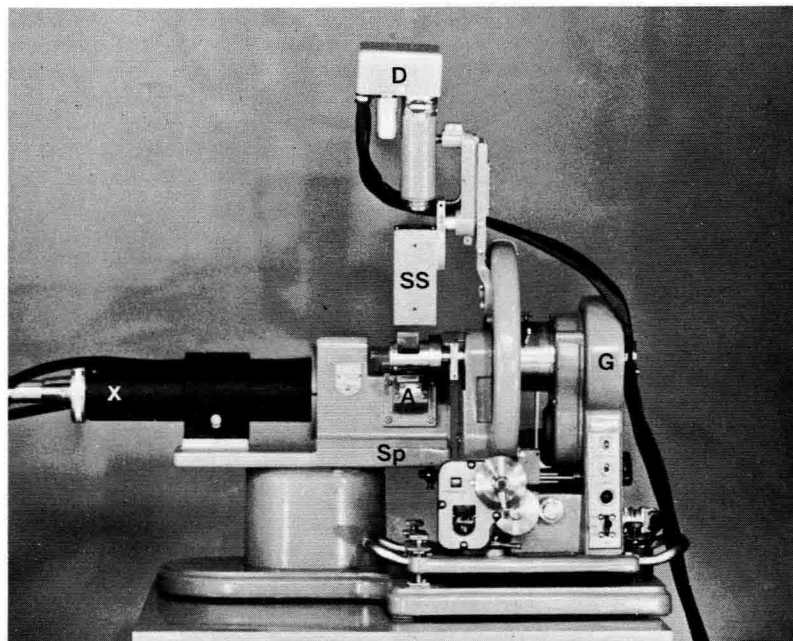


Fig. 4 けい光分析用の最新のX線分光器 記号はFig.3で説明してある。(Philips Electronics)

る線の形の乱れを生ずる。ピーク強度の減少は時定数およびゴニオメータの回転速度の積に比例する。この方法は定性および半定量分析に用いられ、ピーク位置が確認できると、手動法の1つによって精密な測定ができる。

分析法 試料は粉末、塊、固体あるいは液体の形で用いられる。1次X線にさらされる表面は平滑であり、さらに普通、薄い表面層だけがけい光線束に寄与するので試料全体を代表するものでなければならない。表面の粗さは定量的に測定することはむずかしいが、強度の損失の原因となり、分析結果に誤差を生ずる。そこで、固体試料は通常はみがき、ついで必要があれば汚染物を除くため、軽く腐食するか、特に洗浄する。大きな粒径の粉末は普通、粉碎したのちに固め、表面を特定の状態とする。

通常、試料が未知の組成のときは定性あるいは半定量分析を行うため計数率の記録を取る。各線の反射角は、記録図表(チャート)およびブラッグの式が結晶分光器の $2\theta-\lambda$ の表から求めた波長から読取られる。各元素は波長によって同定され、濃度は比較的な強度によって推定することができる。

一般に用いられている正確な定量分析の方法においては、種々の値の、濃度のわかっている標準参照試料を多く用意する。標準試料は、必要とする濃度範囲で、強度を各元素濃度に対してプロットし、検量線をつくるのに用いられる。検量線の直線性および勾配(傾)は試料のX線吸収特性による。分析すべき元素の吸収の差が大きいときほど、標準試料の組成に近くなければならない。試料調製時に既知量の参照元素を加える内部標準法を用いることもある。ついで検量線は、ほぼ同じ吸収を示す標準と他の元素の強度の比を用いてつくられる。

強度は定数計数法あるいは定時計数法によって、線のピーク位置において所要の統計的正確度で測定することができる。例えば、ある程度分解された2重線と分解されていない線を比較するときのように線が違った形をしている場合、積分した線強度は線にまたがって走査し、計数計による計数を合計して求めなければならない。

この方法の精度は、試料の調製および均一性、検量線の正確度、X線源の安定性、計数値の統計的ゆらぎ、分光器の分解能および散乱のような多くの因子に依存する。重なり合った線を除くのがむずかしく、精度に影響する場合もある。優れた新しい、適切に調節された装置を用いれば、試料中の1%以上の元素は、数パーセントあるいはそれ以上の精度で数分で定量することができる。

[WILLIAM PARRISH]

軽航空機 けいこうくうき

[Aerostat] 大気の手力を利用して飛行する航空機をいう。これはアルキメデスの原理、すなわち、流体中の物体に作用する手力は、物体によって排除された流体の重量に等しいことを使う。またボイルの法則(一定温度のもとでガスの体積はその圧力に逆比例する)、シャルルの法則(一定圧力に対してガスの体積は絶対温度に比例する)、ドルトンの法則(与えられた容積内の数種のガス混合物の全圧は、各ガスが独立して容積を占めるときの圧力の和に等しい)、ジュールの法則(ガスは膨張するとき内部的仕事を行わない)、パスカルの法則(外圧を受ける流体が容器の壁に及ぼす圧力は、流体中すべての点で同じである)なども使われる。

手力を求める場合、含まれるガスの重量と、同体積の空気の重さを知る必要がある。これらは密度からすぐわかるが、普通の浮揚ガスの場合では、0°Cおよび760 mmHgに対して乾燥空気中の手力として表1に示す。

気球または飛行船の上昇限度は、ガス袋が完全に膨れ、中の空気袋(ガス袋のガス圧力を調節する可変容積の空気を詰めた袋)が完全にしぼんだ状態である。ここで手力と重量がつりあっているとすれば、それ以上上昇する場合ガスは膨張して弁から脱出するので、気球ま

表1 軽航空機用浮揚ガス

ガス	密度 (lb/ft ³)	乾燥空気中の手力 (lb/1,000ft ³)
水素	0.005610	75.110
ヘリウム	0.011143	69.577
都市ガス	0.02580~0.05970	54.92~21.02
天然ガス	0.05250	28.22

表2 標準大気の手空気密度

高度 (ft)	大気密度 (lb/ft ³)	高度 (ft)	大気密度 (lb/ft ³)
0	0.0765(15°C)	80,000	0.00277
10,000	0.0564	90,000	0.001676
20,000	0.0407	100,000	0.001023
30,000	0.0286	110,000	0.000637
40,000	0.0188	120,000	0.000404
50,000	0.01165	130,000	0.000260
60,000	0.00722	140,000	0.000170
70,000	0.00447	150,000	0.000113

たは飛行船の重量が手力に勝つことになって降下する。

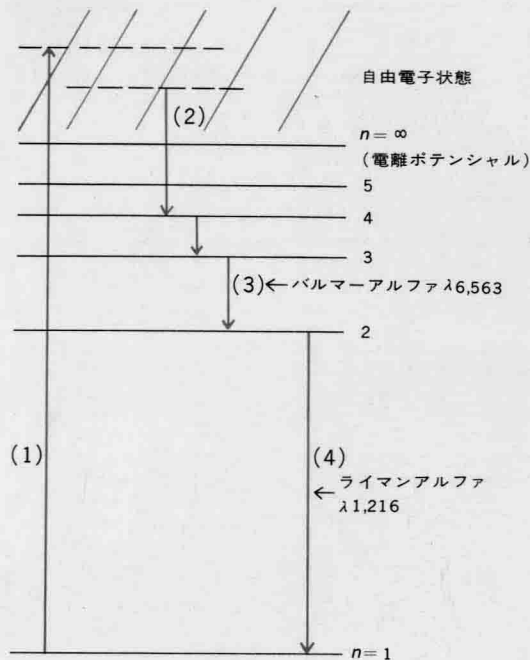
高度に対する空(大)気密度の変化は表2に示す。高度が変わっても一定の手力を保つには、ガスの密度、すなわちガスの容積を変えなければならない。このため、高度気球は上昇限度以下では部分的にガスを詰める。例えば探測ロケットは高度とともに膨らみ、飛行船はガス袋の中に空気袋を備えてこの操作をする。→気圧；気球；硬式飛行船；飛行船；ブリンプ

[KARL ARNSTEIN/ROBERT S. ROSS]

けい光現象の天文学 けいこうげんしょうのてんもんがく

[Astronomy, fluorescence] 電離エネルギーより大きなエネルギーの光子を吸収した元素が、けい光現象を起している、すなわちルミネセンス(luminescence)を放射しているような、天体の研究。天体のさまざまな現象の中には、高エネルギー光子が低エネルギーへと変換しているものがある。天体物理学的に最も豊富な元素、水素(13.54eV：電離ポテンシャル)、ヘリウム(24.48 eV)、および電離ヘリウム(54.17eV)などはその例である。けい光の現れる最も一般的な物理状態をもつ現象は、高温星の周囲またはその近くにある低密度ガス雲である。→けい光；原子構造とスペクトル；星

機構 星から放射された光子は基底準位にある原子によって吸収され(吸収の断面積は約 10^{-18} cm²である)、原子を光電離させる。自由電子やイオンは、星の放射の分布曲線から決まる温度、すなわち色温度よりも低い電子温度まで、衝突によって加熱される。それから、再結合を行うが、その割合は電子密度や温度で決められる。再結合の一部だけが直接、基底準位に落ちる。電子が高励起準位に落ちた場合には、中間の準位を経て基底準位に落ちるか、または直接に基底準位に落ちるといったカスケードが続いて起こることになる。したがって、初め光電離をするときに吸収した光子のエネルギーよりも小さいエネルギーをもつ1つまたはいくつかの光子が放出される。この意味で、ガスは紫外線光子のカウントといえる。高い準位間の遷移によって放射されるスペクトルは、ガス雲から漏れ出るので、多くの線が観測されることになる。基底準位へ落ちたり、基底準位から出たりする光子だけが、ふたたび吸収されると考えてよい。水素の場合は特に簡単である。図に示したように、基底状態($n=1$)にある水素原子が光子を吸収し光電離して自由状態になる(1)。この自由状態における電子の運動エネルギーは、吸収した光子のエネルギーから電離に必要なエネルギー13.54 eVを差引いた値である。電子とイオンが高温になったのち、例えば赤外領域の連続部のエネルギーをもつ光子を放射して、 $n=4$ 準位に再結合したとする(2)。そして、パッシェン系列(Paschen series)の最初の線(パッシェンアルファ)を放射して $n=3$ 準位に遷移す



紫外線がより長波長の線や連続光の放射にけい光変換することを示す、水素原子についてのエネルギー単位図

る。さらに $n=3$ から、バルマーアルファ($6,563\text{Å}$)を放射して $n=2$ 準位に行き(3)、 $n=2$ からライマンアルファ($1,216\text{Å}$)を放射して $n=1$ の基底準位に落ちる(4)。地上からライマンアルファの観測はできないが、けい光バルマーアルファは容易に見ることができる。このけい光赤色光を用いれば高温ガス雲の写真撮影を容易に撮影することができる。

このようなガスのけい光現象の間接的結果は、非弾性衝突によって電子の運動エネルギーが低励起準位にある原子またはイオンの励起エネルギーに転換することである。ゆえに下方への遷移が普通は禁制されている場合でも、遷移によるスペクトル線が生じる。例えば、このような遷移は1次または2次電離酸素で起り、波長 $3,726, 3,729\text{Å}$ [OⅡ]、および $4,959, 5,007\text{Å}$ [OⅢ]のガス星雲の特徴である禁制線をつくる。

固体けい光 この現象も予想されるが、星間空間や小さい塵(塵)粒子を数多く含むガス星雲中の固体粒子の遠紫外光放射からはまだ観測されていない。しかし変わった型のけい光が太陽系の中にあるだろうと考えられてきた。太陽風に含まれる陽子は毎秒 500km 近い高速をもっている。したがって無視できるくらいの大気しかもたない惑星の表面は、これらのキロボルト陽子によって爆撃されている。そしてこれら陽子は、固体の原子に、励起するのに十分なエネルギーを与えるから、主に連続スペクトルからなるけい光を出すことができる。また太陽フレアのと、月面のある部分で明るさが増す事実も、写真撮影から確かめられている。ただしこの観測は、検出可能の限界に近いほど困難である。月面は長期間太陽風や宇宙線の爆撃にさらされてきているため、鉱物の結晶構造は損傷を受け、光子や粒子の衝突のためにけい光を起すのであろう。

[JESS L. GREENSTEIN]

けい光顕微鏡

[Microscope, fluorescence] 複合顕微鏡の1つであり、試料に紫外線を照射できるよう工夫された顕微鏡。紫外線を照射された試料はけい光を発し、しばしば色づいてみえる。けい光が出るのは、紫色線を照射された試料内にてけい光色素が存在しており、その電子状態の変化によると考えられている。ここでは生物学でよく利用されるけい光抗体法についても概説する。→けい光

構造 320 mμ以下の紫外線はガラスに吸収されてし

まうから、けい光顕微鏡では、ガラスコンデンサの代わりに、石英コンデンサを用いる。また反射鏡としては、銀鏡よりも紫外線に対して反射率の高いアルミニウム鏡を用いる。

試料のけい光像は輝いて見え、明暗がはっきりしているが、光量は少ない。したがって通常けい光顕微鏡は単眼であり、暗室で用いる。しかし、けい光強度の強い試料では双眼で観察することもできる。また、レンズはその表面がコートされたものが使用され、光量の損失を少なくしてある。対物レンズは、レンズ自体がけい光を発生しないものならばすべて使用できるが、接眼レンズは、8 mm、20×のものが最もよく使用される。

コンデンサは開口数1.40のアッペ式コンデンサが他の小さな開口数のコンデンサよりも集光率がよく、明視野法ではこれが用いられる。色消し(色収差補正)コンデンサは組合せたレンズの接着界面からけい光が発生するため用いられない。暗視野法で観察する場合は、暗視野コンデンサにとりかえる必要がある。

試料にあてた励起光が直接観察者の眼に入らないように、対物レンズと観察者の眼との間に励起光吸収フィルターがとりつけてある。全色観察したい場合は紫外線のみを吸収するフィルターを用いるが、照射する励起光によっては、それと補色関係にあるフィルターを用いる。例えば、青から紫色線領域の光を吸収するような試料の場合、黄色のフィルターを用いる。そうすれば、試料に吸収されずに進んできた青色励起光は黄色のフィルターにより吸収され、観察者は試料が発する黄色のけい光のみを観察することができる。このように場合により、フィルターの組合せを選ぶことにより、より鮮明な像を観察することができる。 [OSCAR W. RICHARDS]

けい光抗体法 ウイルスや細菌そのほか無生物ではあるがほぼタンパク質と同様な性質をそなえている物質が生体内に入ると、生体はそれら外界から入った物質と特異的に反応する物質を生産する。この物質を抗体といい、体内に入った物質を抗原と呼ぶ。抗体を生体からとり出して、適当な条件下で抗原と混ぜると、抗原と抗体とが結合して沈殿ができる。抗原が粒子状の場合は粒子の凝集がおこる。この抗原抗体反応は非常に特異的であり、ある抗原に対する抗体は他の特定の抗原としか反応しない。それは抗原、抗体分子の立体構造上の相補性によると考えられている。→凝集反応；抗原；抗体

抗体の抗原特異性を損うことなしに、けい光色素(紫外線で照射するとけい光を発する物質)を化学的に抗体に結合させることができる。けい光色素としてフルオレセインが最もよく用いられる。けい光色素-抗体複合体はけい光抗体と呼ばれ、細胞内に入った抗原の免疫的染色剤として、その検出に用いられる(Fig. 1)。薄く切った組織標本や細胞にけい光抗体を含んだ液をかけると、組織や細胞内にその抗体に特異的な抗原があれば、抗体はそこで反応して結合する。この試料をけい光顕微鏡で観察すると、抗体が結合した部分だけが輝き、色づいて見え抗原を検出することができる(Fig. 3)。フルオレセインで標識したけい光抗体は緑色に発光する。もしまれに組織標本自体がけい光を出すことがあったとしても、その色調から、けい光抗体のものと区別することができる。けい光抗体法で観察するとき注意しなければならないのは、組織標本中の抗原の比活性や、組織標本の微細構造が変化を受けないようにすることである。そのためには組織を化学薬品などで固定することは許されず、通常凍結させた組織を薄く切って組織標本とする。

けい光抗体法が顕微鏡学、医学であげた成果は非常に大きい。この方法で細胞や組織内で検出同定されたウイルス、細菌、リケッチア、菌類、原生動物などは数多くある(表参照)。また実験動物など生きた細胞での細菌や外因性のタンパク質、多糖類などの挙動を追跡することができ、微生物感染による後遺症やアレルギー(超感受性)の原因究明にとって重要な手法である。逆に細胞による抗体生産機構の解明にもこの方法を利用することが

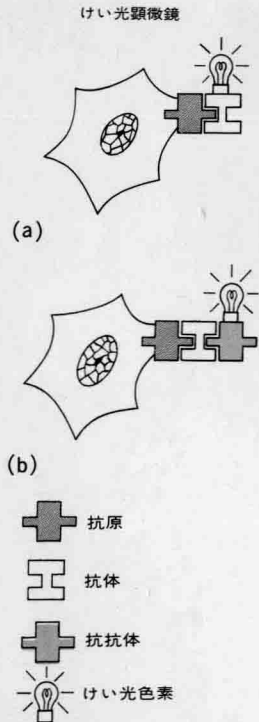


Fig. 1 けい光抗体法の原理。(a)抗原を観察するとき。(b)抗体を観察するとき。