レーザーの生体・医用への応用の実際†

桜井 靖久*

1. 光 と 生 物

光は電磁波の一種であるが、他の電磁波に対するのとは違って、生物は光に対してはその波長の細かい違いを色として精確に識別することができる。これは生物が太陽光線の下で何千万年も進化を続けてきた結果であろう。生物は光の領域の電磁波に対しては、ほかに対するよりもずっと鋭敏であるといえよう。

生体を構成している多くの生体高分子は、それぞれ光に対する固有の吸収スペクトルを持っている。そのために、光の波長のわずかな違いが、さまざまに異なった biological performance をひき起こす。紫外-赤外に至る光線の波長（色）を選択することによって、それぞれに対応した無数の生体反応を期待することができる。

電気や磁気や超音波などと違った意味において、光の生物学・医学方面への応用に無限の期待が寄せられるのは、まさにその点にある。人体は一種の分子機械であり、その分子の織りなす化学反応の総合体が生命を営む。光の色の種類は無限に近く、それらが多種の生体構成成分と対応する。物理学が“science of principle”であるとするならば、化学は“science of variety”といえるかもしれないが、光もまた生物にとっては“energy of variety”といえ

表 1 レーザの医学への応用領域(桜井)

用途分野 レーザー 光の特長	検 体 計 測	生 体 計 測	情 報 処 理	治 療	生 体 機 能 補 助 ・ 代 行	医 療 機 器
可 干 渉 性	別出臓器計測	振 動 計 変 位 計 干 渉 計 ホログラフィ 聴 診 器 視 覚 検 査 眼 底 カ メ ラ	ホログラフィ 教育用画像モデル		ホログラフィ眼鏡	
単 色 性	分 光 分 析 蛍 光 分 析	臓器反射スペクトル ATR 分光分析 色 覚 計 呼 気 分 析		酵素、細胞の賦活 皮膚科用メス 創傷治癒促進		
集 束 性	細胞分別器 顕 微 鏡	ドブラ流速計 網膜血流計	高密度記録	マイクロ手術 眼科用手術 ハ リ 治 療		精 密 加 工
指 向 性	微粒子計測 懸 濁 計		光無線送信		レ ー ザ 杖	
光ファイバ伝送性	多要素比色計	血 海 計 体 内 分 光	遠隔医療 医療情報サービス 画 像 伝 送 T V 電 話	レーザー内視鏡 光ファイバ手術 パ ワ ー 配 送	フォトクロミック 化合物による人工 筋肉	
高 輝 度	発光分光分析	発光分光分析 レ ー ザ 照 明 感 覚 計		レ ー ザ メ ス 砕 石 器 殺 菌 用 凝 固 止 血 歯 科 治 療 骨 溶 接 器		金 属 加 工 セラミック加工

† Practical Application of Laser to Biological and Clinical Purposes
* 東京女子医科大学 Yasuhisa Sakurai
紹介者 編集理事 猪野原 誠

よう。優れた単色光源であるレーザーの開発という“超の技術”の誕生を契機として、Medical Opto-electronics (MOE) や Photobiology (光生物学) には、広大な夢が広が

り始めたと考えられよう。

2. レーザ医学の進歩¹⁾

レーザの医学・生物学的応用が始まったのは、早くも1961年ころからニューヨーク大学、コロンビア大学のグループが、レーザを光源とした眼科用の網膜光凝固装置を使用しており、昭和38年には日本でもルビーレーザ光凝固装置の試作が発表されている。1962年にはパリ国立輸血センターで、レーザを利用した細胞外科の実験が行なわれている。1963年ころからは瘍腫に対するレーザ照射が検討され、生体高分子、細胞、組織などに対するレーザ光の作用も探究され始めた。

その後、レーザ装置自体の進歩、普及に伴って、その医学的応用分野はしだいに拡大して行なった(表1)^{2)~5)}。中でも外科手術用のレーザメスは、無血手術や病的組織の瞬間的な蒸散を可能にする非接触的光線手術装置として大きな期待を持たれ、開発に大きな努力が払われた。日本でも、東京大学医用電子研究施設と日本電子株式会社の協力によって、昭和40年に最高出力20ジュールの医用ルビーレーザ装置、昭和43年には最高出力100WのCO₂レーザメスが開発された。レーザメスの開発については、米国、西ドイツ、イスラエル、中国、日本などが盛んであり、レーザメスの臨床応用をきっかけとして、各国にレーザ医学関係の学会が作られた。特に昭和56年11月には東京で第4回国際レーザ外科学会(会長渥美和彦教授)が開催されて、内外のレーザ医学進展に一つのエポックを作った⁶⁾。以下にレーザの医学への応用について概説してみよう。

3. 医用計測(検査・診断)におけるレーザ

医療行為はその目的によって検査・診断、治療、リハビリテーション、健康保持増進、病気の予防などに分けられる。その中で医用計測は、その検査対象によって生体計測、検体計測、環境、医用関連機器検査などに分けられ、結果の表示から見れば、記述的表現、数値的表現、画像的表現などに分類する。

光による計測は、“非接触的”に実施できる可能性があ

表2 光による検体計測(桜井)

スペクトル非依存式計測
・ 光学的濃度計
・ 電気泳動法
・ 血球カウンタ
・ レーザ散乱けん濁計(ネフェロメトリー)
・ 精子泳動度計測
・ レーザドブラー
・ 抗原抗体反応検出用
スペクトル依存式計測
・ 光電比色計
・ 赤外線分光分析
・ 蛍光分析
・ 炎光分析
・ 原子吸光分析
・ 顕微分光分析
・ レーザ発光分光分析
・ レーザ分光
・ Laser Cytofluorometry (Cell Soter)
・ レーザ顕微鏡
画像依存式計測
・ 画像処理
・ 血球分別用
・ 細胞診用

表3 光による生体計測(桜井)

スペクトル非依存式計測	光量変化検出式 オプティカルファイバ・カテ先形血圧計 生体の変位検出装置 呼吸運動描記器 Pneumograph 筋運動描記器 Myograph 心臓動計 Ballistocardiograph 非接触形生体振動変換器 実験用回転角検出装置 磁気式酸素計 滴数計 シンチレーション検出器 光照射式 透過照明法 Transillumination 光波干渉縞、モアレ縞
スペクトル依存式計測	光量・濃度検出式 オキシメータ 色素希釈法 (透過形) (キューベツ形 (反射形) (イアピス形 光電容積脈波計(プレチスモグラフ) (透過形) (マクロ形 (反射形) (ミクロ形 光照射式 レーザ光・干渉縞(体表の等高線、網膜解像力) ホログラフィ干渉縞(体表のゆがみ、鼓膜の振動部位) スペクトル・パターンによる目の検査 レーザ発光分光分析 レーザ・ドブラー血流速計 赤外線電気腫孔計 代謝動態用顕微鏡光測定装置 胃がん診断用蛍光胃鏡 臓器表面反射スペクトロメトリー ATR-IR 法 呼吸中アルコール測定 オンライン血液成分分光分析
像依存式計測	各種内視鏡、カメラ 顕微鏡、電顕(透過形、走査形) テレビ X線、シンチグラム サーモグラフィ ホログラフィ 超音波ホログラフィ
エネルギー計	痛覚計

り、これは計測対象に外乱となる有害な作用や苦痛などを与えずに測定できる非破壊的(医学では“無侵襲”という)検査につながる。そこで、医用計測には多くの光学的手法が応用されている(表2、表3)。

これらの中で、第一にレーザのパワーを利用したものとしては、体内の異物や骨の異常などを体表から透視するための光源としてレーザ光を用いる trans-illumination、強力なパルスレーザ光によって、ごく微量の生体組織や歯などを蒸散させて、そのガスを発光分光分析して組織中に含まれている元素を半定量的に測定するレーザ発光分光分析法などがあるが、あまり実用はされていない。

第二は、分光分析において強力な単色光源としてレーザ光を用いるものである。皮膚や粘膜上に全反射プリズムを置いて、そこに赤外光源としてCO₂レーザ光をあてて、生体表層におけるATR-IR法(Attenuated Total Reflection、内部多重全反射赤外分光)を行なって、微量の生体内成分(たとえば血糖値など)を無侵襲的に計測する方法の研究は興味深い⁷⁾が、実用化までには至っていない⁷⁾⁸⁾。

光ファイバを利用した内視鏡であるファイバスコープを通して、胃、腸、膀胱、気管、肝臓などの体内臓器の内面や表面にレーザ光を照射して、その反射、散乱光などを測定して、臓器表面の分光学的特性を調べて、臓器の機能や

組織の病態を検査する臓器反射スペクトル解析法も研究されている⁹⁾¹⁰⁾。570～630 nm の色素レーザー光を肝臓表面や胃粘膜などに照射して、その散乱・反射・吸収スペクトルを測定すると、局所の血流、血液の酸素飽和度、電子伝達物質などから発せられる蛍光の空間分布、ラマン分光分析などが得られて、肝硬変、肝がん、胃潰瘍などの診断に役立つという。

レーザー光を照射するとその励起によって、蛍光を発するような光感受性物質の中には、特にがんなどの腫瘍に親和性が強いものである。たとえばヘマトポルフィリン誘導体(HpD)はその一つである。HpD を静脈注射してから48～72時間後には、腫瘍組織においては正常組織の10倍以上ものHpD が取り込まれている。そこにファイバースコープを通して、アルゴンレーザー光、クリプトン・イオンレーザー光(405 nm)などを照射すると、HpD からは桃赤色の蛍光が発せられる(図1)。それによって胃や気管支におけるがん組織の局在部位が診断できるのである。この方法は、がん診断にとって一つの有力な検査法となると同時に、後述するように、がんの光化学的治療につながるという点においても意義が大きい^{11)～13)}。

図1 ヘマトポルフィリン誘導体の紫外光照射による蛍光(630 nm と690 nm の2峰性)

第三には、レーザー光が微小点に集束できることを利用したレーザー・ドブラー血流計がある^{14)～17)}。これは、眼底や腸間膜などのような細い血管に直接に外からレーザー光を照射するか、あるいは光ファイバを血管内に挿入して、このファイバを通じてレーザー光を流れている血液にあてて、流れている赤血球などの粒子によって、ドブラーシフトを受けた反射散乱光を検出して、その波長シフトから血流速度を得るのである。この方法によれば、レーザー光を微小点に絞れるので、サンプル容積100 μm 程度と空間分解能がよく、応答も速く、血管内の各点の流速を精密に記録でき、血管内の血流の速度分布プロファイルを画くことができるのである。眼底網膜の血管の場合、動脈で0.7～2 cm/s、静脈で1.2～1.4 cm/s という結果が得られており、また、心臓の冠状動脈内の血流プロファイルの解析などもなされている(図2)。

次に、細胞を生きたまま種類別に分画・分取できる cell

図2 冠動脈左回施枝起始部における血流速度のパターン(シフト周波数は1 MHz≒48 cm/秒)
(榎谷文彦ほか: レーザ・Doppler 血流計測, 臨床検査 27-9 (昭58) 982)

図3 レーザ・フロー・サイトメータの構造

sorter (flow cytometer) は、レーザー応用検査機器の中でも最も画期的なものであり、広く実用されている^{18)～20)}。その構造は図3に示すとおりである。検査対象となる細胞の浮遊液を入れた容器に圧力をかけて、ノズルを有する容器へ浮遊液を送る。容器のふたに40 kHz 程度の超音波振動を与えて、ノズル先端から細胞1個を含む液滴が落下するようにする。液滴には細く絞り込んだアルゴンレーザー光(2～4 W程度の出力)が照射され、その前方・側方散乱光、細胞から発する蛍光などが、フォトダイオード、光電子増倍管などのセンサによって検出される。その検出信号によって、細胞による吸光度、蛍光の有無と種類などが識別されて、細胞のサイズ、核のサイズ、DNA 量、細胞表面マーカーなど、細胞の有する各種パラメータが検出される。

ただし、細胞には前処理が施され、各種の蛍光物質を標識した各種の抗体などが結合されているのである。検知された細胞の特性に従って、細胞を含む液滴には正または負の電荷が印加され、偏向電極板を通過する際に、液滴に与えられた電荷と、反対符号の偏向板のほうに細胞が引き寄せられて分別される。この装置によって1秒間に約5,000個の白血球、リンパ球、がん細胞と正常細胞などが分別で

き、免疫学、血液学、移植臓器に対する拒絶反応、がん診断などに役立っている。

レーザを光源としたレーザ顕微鏡は、励起光としての輝度が高く、解像力もよく、従来の方法では見えなかったような細胞や組織の構築が可視化される可能性があり、今後が期待されている²¹⁾。

第四にはレーザ光のコヒーレンシーを利用した干渉計、網膜に直接に干渉縞を作り、目の透光体が混濁していても網膜の解像力を測定できる装置²²⁾、スペックルパターンによる眼球屈折力検査²³⁾などがある。散乱光を検出するレーザネフエロメトリー^{24)~26)}も、検体検査に多く利用されている。

次にイメージングとしてのレーザの応用では、ホログラフィがある²⁷⁾²⁸⁾。パターン計測、三次元ディスプレイ、動的イメージング、教育用立体表示などに応用されよう。超音波ホログラフィもレーザ応用計測の一つであるが、実用に至っていない²⁹⁾。

今後レーザ装置の小型化、チューナブルレーザの普及、半導体レーザ装置の進歩などが、医学計測用レーザの発展に大きな寄与をするであろう。

4. レーザ光の生体作用と治療への応用^{30)~33)}

レーザ光の生体への作用メカニズムは、表 4 のように分類できる。このような生体作用を利用して、レーザ光を治療に用いる主たる方法は、次の 3 とおりに大別できよう(表 5)。

表 4 レーザ光の生体への作用機序

(1) 熱による作用
(a) 数 msec という短時間照射部が200~1,000°C という高温になり、蒸発・気化する
(b) 数秒~数分間 45~70°C 程度の温度になり、組織が凝固・変性する
(2) 圧力による作用
(a) 光子自体の圧力(数~数10 g/cm ² で小さい)
(b) 組織の熱膨張による衝撃波
(c) 蒸発による反衝圧力波
(d) 光波の電歪現象による超音速波
(3) 光としての作用
(a) 光の量子エネルギーによる化学変化
(b) 色素による選択的吸収
(c) 二次高調波などによる化学作用
(4) 電磁界作用
電磁場生成によるイオン化、遊離基発生、分子結合破壊

表 5 治療分野におけるレーザ医学(桜井)

(1) 弱エネルギーの適用(生体用レーザ刺激器)
鍼灸術つぼ刺激器(東洋医学)
創傷治癒促進用
腫瘍変性用
(2) レーザと光化学特質の併用
ヘマトポルフィリン誘導体によるがん治療
アクリジンオレンジによる皮膚切開
(3) 強力レーザ光による手術装置(熱凝固、衝撃、蒸発、切開、溶接)
網膜光凝固装置
皮膚病変治療用パルスレーザ
皮膚病変治療用連続波レーザ
マイクロ手術用レーザメス
連続波レーザメス
経内視鏡的光ファイバレーザ手術装置
レーザ碎石器(結石破壊用)
(4) 生体用レーザ溶接器
虫歯治療・予防用
骨溶接用
(5) 殺菌用レーザ照射器
創傷滅菌用
下水処理用
(6) 感覚補助用レーザ装置
盲人用レーザ杖
ホログラフィ眼鏡

(1) 低エネルギー・レーザ光の刺激作用

ミリワット級の連続波あるいは、パルス光を体表面に照射するもので、人体には目に見える損傷、痛みなどを与えずに、そのなんらかの刺激作用によって鎮痛(はり治療、はり麻酔)、活性化(創傷の治癒促進、皮膚疾患の治療、血行の促進など)を得ようとするものである。その効果発現のメカニズムには未解明の部分が多いが、レーザはり治療器(表 6)などが実用に供され始めている。

(2) 光化学治療

前述の HpD などと数百 mW 程度の弱いレーザ光(それ自体のパワーでは組織に熱的損傷を与えない)とを組み合わせた治療法で、光照射治療(photo-radiation therapy)とも称している(図 4)。あらかじめ注射などによって胃・気管支(肺)などのがん組織にとり込ませた HpD に、内視鏡を通じてアルゴンレーザ光や、アルゴン-色素レーザ光(630 nm)などの励起光を数十分間にわたって照射すると、この光は表面から 5~10 mm の深さにまで深達しがん細胞内の色素分子を励起させる。この励起色素分子が基底状態に復帰するときに、細胞内の酸素にエネルギーが移行し、励起された一重項酸素が発生し、このためのがん細胞が壊死に陥るのである。現在では高齢や合併症など行

表 6 レーザはり治療器

機 種	bioLas D Irradiation Laser	Akup Las MFL	Fujinon Laser Acupuncture	開 発 中	開 発 中
メーカー (開発担当)	MBB-AT (西独)	MBB-AT (西独)	富士写真光機 (日本)	日本医用レーザー研究所 (日本)	日本医用レーザー研究所 (日本)
レーザ (出力)	He-Ne	He-Ne	Nd:YAG (1 W)	Nd:YAG (4 W)	GaAlAs ダイオードレーザ (15 mW)
波 長	6,328 Å	6,328 Å	10,610 Å	10,610 Å	8,300 Å
照射端パワー	5 mW	3 mW	0,200 mW	1 W/cm ²	0.5 W/cm ²
照射様式	連続パルス	連続パルス	連続パルス	連 続	連続パルス

図4 Nd-YAG レーザ外科装置のシ
ェーマ¹³⁾

のために手術不能な症例を対象として、この光化学治療が行なわれて効果を挙げているが、将来は手術せずにがんを治療する画期的方法として普及する可能性がある。ただ、HpD は皮膚にも残留して、投与後2～3週間くらいは日光を避けないと強い皮膚炎に悩まされるという副作用の問題があり、さらに使いやすい安全な光感受性物質の開発が求められている。

(3) 強エネルギー・レーザの熱作用を利用した方法

強いレーザ光を組織に照射すると、その熱作用によってその組織は凝固、焼灼、切開、蒸発、滅菌される。この範ちゅうにはいるものとして、最も早くから普及しているのは、眼科用の網膜光凝固装置である。眼底の病変部を精密にそして効果的に焼灼、熱凝固するもので、光源としては0.1ジュール程度のアルゴン・レーザが用いられている。網膜剝離、糖尿病性網膜病変などに適用されている。

皮膚科や形成外科の領域では、200ジュール程度のルビーレーザ、数ワットのアルゴン・レーザなどが母斑（あざ）、血管腫などをとるのに用いられている。歯の表面にパルスレーザを照射して、エナメル質の小さなひび割れを溶着して虫歯を防ぐ方法、胆石や尿道結石などをレーザで破壊する方法なども研究されている。

Nd-YAG レーザ光 ($1.06\mu\text{m}$) は、生体組織に対する透過率が大いので、組織の深部（数 cm）まで到達できる。一方 CO_2 レーザ光 ($10.6\mu\text{m}$) は、生体組織に対する光消散長が 0.1mm ときわめて吸収がよい。そこで、 CO_2 レーザメスは組織を焼灼、切開、蒸発させるのに適している。一方、石英ファイバによって、内視鏡を通して体内に伝送できる YAG レーザは、胃粘膜からの出血を凝固止血したり胃、大腸、膀胱などにできた早期のがん組織やポリープなどを熱焼灼するのに応用されている。

CO_2 レーザメスは国の内外で多くの機種が作られ、脳外科、耳鼻咽喉科、肝臓手術、形成外科、婦人科領域などに広く実用されている。従来、高パワーの CO_2 レーザ光を伝送する光ファイバがなかったために、可動性のつなぎ目部分に、反射鏡をつけた数本の金属パイプを組み合わせた

図5 レーザメスの装置構成ブロック図

導光路が CO_2 レーザメスに用いられているが（図5）、最近、日本で KRS-5 (TII と TIBr の混合多結晶) などの赤外光用ファイバが開発され、ファイバ式レーザメスも実現するに至っている。 CO_2 レーザメスには、最高出力20～80 W、連続発振、間欠的発振、あるいは rapid super-pulse（ピークパワー数 kW、パルス幅 100～200 ms、1 秒間に数十～数百回の頻度）などの照射様式、顕微鏡と組み合わせたマイクロサージェリィ（顕微鏡下の手術）用、レーザ光と YAG レーザ光を同軸的に照射できるものなどがある。比較的弱い CO_2 レーザ光によって小血管を溶着吻合する試みもある。

昭59年3月の日本産業技術振興協会の調べでは、日本の全国約500主要病院におけるレーザ保有台数は、YAG レーザ161台、 CO_2 レーザ151台、アルゴンレーザ34台、色素レーザ18台、その他21台、計385台（ただし、眼科用装置は除く）となっている。

5. おわりに

つい最近、皮膚の角質層に CO_2 レーザ光を照射して、そこに寄生する白癬菌に 65°C 以上の熱を与えて死滅させ、水虫を治療するという装置ができた。また、レーザ発生装置を中央に設置し、光ファイバを病院内に張りめぐらしてレーザ光を院内各所に配送し、診断・治療に利用するレーザ医療専門病院が、近く日本に完成するというニュースもある。

レーザの医学応用は、爆発的な普及とまではいかないにしても、着々進行中といつてよいであろう。

参考文献

- (1) 桜井靖久：医用レーザ，医用電子と生体工学 20-7（昭57）546～550
- (2) 桜井靖久：レーザによって開かれる医学の可能性，毎日ライフ 9-6（昭53）74～86
- (3) 渥美和彦，桜井靖久，藤正敏，森川幸月：レーザの医学への応用，医用電子と生体工学 4-5（昭41）370～392
- (4) 渥美和彦：レーザの医学への応用(1)～(6)，医学のあゆみ 70-8，362～366；71-12，748～752；72-8，431～436；73-10，610～615；73-12，701～706；74-3，121～126（昭44～45）
- (5) Goldman, L.: Biomedical Aspects of the Laser, Springer-verlag, New York (1967)
- (6) Laser Tokyo '81, ed. by Atsumi, K. and Nimsakul, N.: The 4th Congress of the International Society for Laser Surgery (1981)

- (7) Kaiser, N.: Laser Adsorption Spectroscopy with an ATR Prism, IEEE, BME 26-10 (1979) 597~600
- (8) 菊地真, 中須英輔, 佐野昭, 桜井靖久: レーザー ATR 法を用いた非観血, 連続的血糖測定装置の基礎的研究, 日本レーザー医学会誌 1-1 (昭55) 198~205
- (9) 佐藤信紘, 七里元亮, 鎌田武信, 阿部裕: 臓器反射スペクトル解析による臓器の機能診断, 医用電子と生体工学 17-7 (昭54) 66~72
- (10) 熊谷博彰, 福富久之, 崎田隆夫: 生体 (胃) リモートセンシングへのアプローチ (I) (II), 映像情報 9, 821~830; 10 (昭54) 951~957
- (11) 桜井健二郎, 加藤大典: レーザーと癌, 計測と制御 19, (昭55) 593~594
- (12) 加藤大典: レーザと癌の光化学, レーザ研究 10-2 (昭57) 165~172
- (13) 早田義博, 加藤治文, 小野寿太郎, 大多和正樹: レーザー内視鏡, 臨床検査 27-9 (昭58) 965~972
- (14) 森川幸月: レーザ光線による血流測定—レーザー・ドップラー法による拍動血流速計測—, 呼吸と循環 21-2 (昭48) 39~46
- (15) 岡本新生郎: レーザ・ドップラー法による眼底血流速度測定—網膜の血流動態, 日眼会誌 83-7 (昭54) 141~147
- (16) 梶谷文彦, 伯耆徳武, 西原浩: レーザ・ドップラ血流計測, 医用電子と生体工学 17-7 (昭54) 510~515
- (17) 梶谷文彦, 伯耆徳武, 三戸恵一郎, 平松修, 西原浩: レーザドップラ血流計測, 医学のあゆみ 112 (昭55) 427~435
- (18) Herzenberg, L. A., Sweet, R. G.: 蛍光活性化セル・ソーター (Fluorescence-activated cell sorting) 別冊サイエンス 34 (昭55) 98~109
- (19) 野口義夫: 種々のフロー・サイトメーターの現状についての調査, 電子技術総合研究所彙報 44-3 (昭55) 160~197
- (20) 田口喜久雄: 医学のあゆみ 124-5 (昭58) 370
- (21) 加藤大典: レーザ顕微鏡, 臨床検査 27-9 (昭58) 973~976
- (22) 大庭紀雄, 小沢哲磨: 干渉縞パターンによる視力測定について, 眼科臨床医報 66-9 (昭47) 855~859
- (23) 大頭 仁: レーザの臨床医学への応用, 応用物理 48-4 (昭54) 351~360
- (24) 清水秀明, 松本元: 精子の運動と光散乱, 医用電子と生体工学 13-4 (昭50) 25~31
- (25) 西坂 剛: レーザの臨床検査への応用, 臨床検査 21-13 (昭52) 31~38
- (26) 大竹皓子: レーザネフェロメータによる免疫グロブリンの定量, 検査と技術 6-1 (昭53) 32~40
- (27) Holography in Medicine, ed. by Greguss, P. IPC Business Ltd. (1975)
- (28) Holography in Medicine and Biology, ed. by von Bally, G. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (1979)
- (29) Holbrooke, D. R. et al.: Medical use of acoustical holography, Acoustical Holography, 5, 415~451, Plenum Press, New York (1974)
- (30) 桜井靖久: レーザによって開かれる医学の可能性, 毎日ライフ 9-6 (昭53) 74~86
- (31) 渥美和彦ほか編: レーザ医学 中山書店 (昭55)
- (32) 渥美和彦監修: レーザの臨床, メディカル・プランニング (昭56)
- (33) 第5土曜特集: レーザ医学: 医学のあゆみ 124-5 (昭58)

(受付1985年8月16日)

12月号掲載予定目次

- 解 説 ○セラミックスと照明
○発光ダイオード (LED) とその応用
- 施設報告 ○神戸ポートアイランドホールのアリーナの照明
- 資 料 ○非直線性誘電体素子の蛍光灯始動器への応用
- 講 演 ○明るさに基づく測光: 問題点, 生理学およびモデル
- 委員会報告 ○測光標準用白熱電球の測光方法 JIS 改正原案作成委員会報告
○関西編集懇談会報告
- 総 目 次 ○昭和60年1~12月

その他