



ホログラフィ干渉の医学への応用

1. はじめに

ホログラフィ干渉は、新しい光学技術として医学方面に応用されている。医学の分野でこの技術が注目されはじめたのは、1972年に Khanna ら¹⁾が耳科学に、1974年に Wedendal ら²⁾が歯科学への応用例を発表した頃と思われる。以来、今日まで、光学と医学の研究者による共同研究が続けられている。すでに応用された分野は、耳科学、喉頭科学、眼科学、歯科学、整形外科学および泌尿器科学である。計測量としては、変位変形計測と振動計測があげられる。前者では、二重露光法、実時間法およびパルス二重露光法が用いられ、後者では、時間平均法およびパルス二重露光法という技術が主として用いられている。ホログラフィ干渉の特長は、生体そのものを測定対象として硬および軟両組織に使用でき、しかも非接触で変位分布や等振幅線を求めることができ高感度である。従来、変形計測には、ストレインゲージ、差動トランス、モアレおよび光弾性法が用いられていた。前2者は、その場所のひずみが得られるだけで分布を得るには大変な時間を必要とした。モアレ法は生体に基準格子を貼りつけねばならず、ひずみの分布は得られるが硬組織に限られた。光弾性法では、複雑な組織を持つ生体に対してモデル実験を行っており、全体の応力分布はわかるがその結果が直接生体にもあてはまるとはいいがたい。他方、鼓膜の振動計測には、おもに静電容量法と高速度写真撮影法が用いられていた。これらは生体そのものに適用できないし、振動パターンを求めるためのデータ処理に時間がかかり、複雑なモードの振動ではほとんど不可能になる。ホログラフィ干渉による変位変形および振動計測はこれら従来の方法の欠点を取り除いた画期的な技術としてさかんに利用されている。ここでは、医学の分野にこの技術に応用する場合の問題点を考察し、さらに耳科学および喉頭科学への応用に限って解説する。

2. ホログラフィ干渉技術を 応用する場合の問題点

この技術を中心に今までの報告を分けると次の二つになる。

- 1) 臨床的に使用できる計測法の確立をめざした研究にこの技術に応用する立場
- 2) これの確立をめざすのではなく、そのための基礎的または生理的研究にこの技術に応用する立場

1) の場合、生体は常に微小振動しているため歯や耳等計測したい器官のホログラム作成には大きい強度の光源と短い時間間隔で発光できる装置が必要であり、Qスイッチルビーレーザーが唯一である。これらがあればパルス二重露光法により臨床上有用な計測法になる。しかしこれらの装置は高価である。計測対象に光が入るようになるためには相当の準備が必要である。たとえば、歯の変形計測では、歯および歯肉が見えるように唇を開いておくための特別な器具が必要である。鼓膜の振動計測では、外耳道がまがっているので光を導くために特別な器具が必要となる。眼に光が直接入らないよう保護めがねをかけなければならない。

2) の場合、人または動物(犬、猫、モルモット、兎など)の当該器官を摘出したのち、適当な固定を行なって二重露光法や時間平均法で計測することになる。He-Ne レーザーもしくは Ar レーザーが用いられるのではあるが安価である。重要なことは、生体より摘出直後に計測を始め、短時間に終了するようにしなければならない。計測中もできるだけ鮮度を保つことが必要である。というのは生体より摘出時に血液の循環が断たれ劣化が進行するからである。この程度を実時間ホログラフィ干渉等によく調べておくこと、そして変位計測では、荷重量を変えてそのたびにホログラムをとる場合、除荷後の被検体の回復状況を把握しておくことが必要である。このことは振動計測の場合もあてはまる。これらの配慮をしておけば、得られたデータに意味が生じることになる。

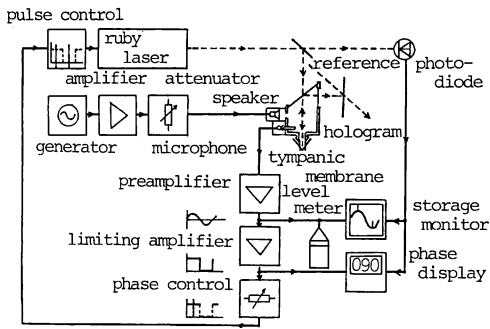


Fig. 1 パルス二重露光ホログラフィ干渉による生体鼓膜の振動計測システム

3. 耳科学への応用

中耳には、鼓膜があり、これは直径 11 mm、厚さ 0.1 mm の薄膜である。外耳から音波が入り鼓膜に達するとこれが振動し、耳小骨連鎖に伝播し内耳に入る。さらに内耳液を振動させて聴細胞を刺激し音を感じとる。この分野では、先天性伝音難聴や耳硬化症等中耳内の疾患の治療のため試験的鼓室開放によらず内部の様子を診断すること、中耳内の音の伝播特性の把握が要望されている。そこで鼓膜の振動計測に時間平均法やパルス二重露光法の技術を応用することが考案された。計測装置を Fig. 1 に示す³⁾。図において、外耳道に耳鏡を介して密閉した音響装置を取り付ける。スピーカから出た音の振動が鼓膜に伝えられるとともにマイクで検出され音圧が測定される。ルビーレーザーの最初のパルスは位相遅延装置にあらかじめ設定した値のときに発生する。光のパルスは耳鏡を経て鼓膜を照明し、その反射光がホログラム乾板で参照光とともに記録される。第 2 パルスはパルス制御装置にあらかじめ設定した時間のあと出され、二重露光ホログラムが作られる。鼓膜面での光のエネルギーは 1 mJ/cm^2 以下が安全な強さである。わかったことは、正常鼓膜と疾患を有する鼓膜では明らかに異なる振動パターンを示すこと、2 kHz の音を加えたとき、その音の位相と振動振幅に関係があること、しかし 3 kHz の音ではそれが無いことなどである。問題点は耳鏡に取り付けた音響装置は光学系の設定後動かすことができず被検者の耳をそれにあわせることが撮影の条件になっていることである。そこで临床上さらに使いやすい形にするため、光ファイバーをフレキシブルな光伝送媒体として用いることとし、改良を行なった結果使いやすくなり、再生像にスペックルが存在するが干渉縞のコントラストは十分であった。実用的計測装置にさらに近づ

いたと判断される。

4. 喉頭科学への応用

喉頭は空気が肺に入るための閥門であり、発声の機能を有している。つまり、声帯が振動して肺から吐き出される空気に疎密波をつくり、咽頭、口腔および鼻腔などで共鳴して音声や言語となる。ところが喉頭に疾患があれば音声障害を起こすので、これを生じている場所の診断方法の確立、あるいは声楽を学習している学生に正しい発声方法を指導するため、発声中の音声器官の機能を観察できる方法の開発が要望されている。そこで、発声中の音声器官の振動は、それらに最も近接した皮膚に、つまり首の前面部を中心に胸、口蓋周辺部に伝播されると考えて、これらの皮膚表面の振動パターンをパルス二重露光法で計測している^{4,5)}。計測装置は、Fig. 1 で外耳に取り付ける音響装置がないほかは同様である。被検者に母音 (a, e, i 等) を同一音圧で発声させて、基音 (a なら 446 Hz, 450 Hz など) をフィルターで取り出し、あらかじめ設定した音圧レベルで第 1 パルス露光し、200 μs の時間をおいて第 2 パルスを出して二重露光ホログラムを作成した。その結果、喉頭部、首、頬、口蓋および鼻等で鮮明な干渉縞が得られた。とくに喉頭部は低い振動数のときほど干渉縞が密で大きい振動振幅が生じる。そのパターンは逆三角形の形をしており対称性が認められた。この研究は、まだ始められたばかりで今後、機能障害をもった被検者に同様の計測を実施し、他の母音についても計測を進めることにより、発声機構の解明や音声器官の診断に有用な計測法となることが期待される。

5. おわりに

歯科学の分野では変位変形計測が行なわれ、この技術がよく応用されている。最近では、咬合力による歯と顎骨の変形^{6,7)}、使用に伴う補綴材料の経時変化⁸⁾等に二重露光法や実時間法の技術が応用され、基礎的ならびに生理的研究が行なわれているが詳細は省略する。この技術にも限界があり面内変位および振動は測りにくい。したがって、この技術の特徴をよく知って、従来の技術と組み合わせ計測を進めることが大切である。たとえば、変位計測の場合、全体の変形パターンをこの技術で知り、さらに大きい力を加えた場合の変形について上の結果からストレインゲージを接着する場所を選定すれば有効な使い方となる。いずれにしてもホログラフィ干渉技術による振動および変位変形計測では、生体そのものについ

て振幅分布や変形パターンが直接わかるので、医学の各分野で今後ますます重要な計測技術として発展することが期待される。この方面に興味を持たれる方や各分野の応用研究をさらに詳しく知りたい方は、文献 3, 4, 9) を参照されたい。

文 献

- 1) S. M. Khanna and J. Tonndorf: J. Acoust. Soc. Am., **51** (1972) 1904.
- 2) P. R. Wedendal and H. I. Bjelkhagen: Appl. Opt., **13** (1974) 2481.
- 3) G. von Bally: *Holography in Medicine and Biology*, Springer Series in Optical Sciences, Vol. 18, ed. G. von Bally (Springer, Berlin, Heidelberg, New York,

1979) p. 198.

- 4) R. Pawluczyk, Z. Kraska and Z. Pawlowski: *Optics in Biomedical Sciences*, Springer Series in Optical Sciences, Vol. 31, eds. G. von Bally and P. Greguss (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1982) p. 131.
 - 5) R. Powluczyk, Z. Kraska and Z. Pawlowski: Appl. Opt., **21** (1982) 759.
 - 6) T. Matsumoto, T. Fujita, R. Nagata, K. Iwata, T. Sugimura and Y. Kakudo: see Ref. 3), p. 170 and see Ref. 4), p. 105.
 - 7) 松本俊郎, 杉村忠敬: 光学, **10** (1981) 184.
 - 8) I. Dirtoft: see Ref. 4), p. 100.
 - 9) 松本俊郎: O plus E, No. 17 (1981) 47.
- (大阪府立工専 松本俊郎, 1982年11月18日受理)