

# 医用検査・診断装置への赤外線への応用に関する研究

井 尻 和 夫<sup>1\*</sup>

黒 川 悟<sup>2\*</sup>

安 達 雅 浩<sup>3\*</sup>

大 東 卓 央<sup>4\*</sup>

## [要 旨]

近年、X線を受けない断層投影技術として近赤外光による生体断層の透視技術の実用化への取り組みが旺盛に進められており、医用分野をはじめ、動植物など様々な生体を透視する装置の実現が期待されている。本研究では、高感度赤外線センシングユニットの実用化を目指し、低コストで実現可能な低周波のLDパルス変調光を用いて高光散乱媒質の透過減衰量を測定する方法について検討した。

コモン性の外乱の多い環境下でも高感度に透過減衰量の測定が可能なディテクターユニットを試作検討し、供試体とした高光散乱媒質の透過光減衰量がBeerの法則を満たして指数関数的に減少していることを確認でき、試作した測定系の有効性を検証することができた。

## 1. 緒 言

医療現場では、各種のX線投影が一般的に使用されているが、X線照射による患者への負担が大きく、人体への影響を与えないで、体内の境界面や異常箇所を検査・診断することができる赤外線を用いた検査装置の開発が求められている。

本研究では、高感度赤外線センシングユニットの実用化を目指し、断層投影や体内の異常箇所の検査などの医用検査・診断への赤外線の応用の可能性を検証するため、低コストで実現できる低周波のLDパルス変調光を用いて人体組成に近い豚肉を主原料とする加工肉を供試体とした高光散乱媒質の透過減衰量を電源ハム雑音や自然光、蛍光灯などの外乱光の多い環境下でも高感度で測定で

きる方法について検討した。

コモン性の外乱を除去できるディテクターを試作して透過減衰量を測定した結果、供試体とした高光散乱媒質の透過光減衰量がBeerの法則を満たして指数関数的に減少していることを確認でき、試作した測定系の有効性を検証することができた。

## 2. 実験方法

実験では、低周波パルス変調LD光源を用いて高光散乱媒質の透過減衰量を測定する方法について検討するため、生命の窓と言われている600～1300nmの近赤外域の上限周波数である635nmのLD光源を用いて、人体組成に近い豚肉を主原料とする加工肉を供試体とした光透過減衰量の測定を行い、透過減衰量が、透過距離に対してBeer法則に従って指数関数的に減衰して行くことを検証することにした。

また、低コストな測定系実現の可能性を検討するため、測定系に混入してくるAC電源のハム雑

1 \* : 研究開発課 専門員

2 \* : 研究開発課 主 任

3 \* : 研究開発課 技 師

4 \* : 研究開発課 主任研究員

音、自然光や蛍光灯などの外乱光の影響を低減するための方法についても検討を行った。

## 2. 1 光透過減衰量の測定系の構成と試作装置

測定系は、供試体とした高散乱媒質の光軸近傍の透過光量を計測できるよう図1に示す構成とし、図中に示したFの低周波パルス光源から照射したLDビームをEの偏向子で波面揃え、コリメータレンズを介してCの供試体に照射し、Bのスリッターで光軸中心近傍の透過光のみをAのディテクターユニットで受光し、ストレージオシロスコープとスペクトラムアナライザを用いて受信波形とスペクトル計測ができるようにした。測定系の全景を写真1に示す。

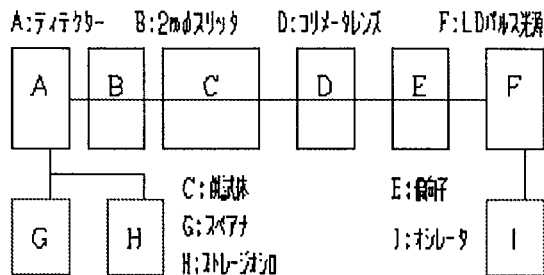


図1 光透過減衰量の測定系の構成



写真1 光透過減衰量の測定系の全景

## 使用機器

LDパルス光源 : LDP-6535H  
 ストレージオシロスコープ : LC564A  
 スペクトラムアナライザ : R3271A

ディテクターは、低周波の電源ハムと自然光や蛍光灯などのコモン性の外乱雑音の除去を目的とした図2に示す受光素子とゲイン100倍の交流差動アンプとで構成したユニットを試作した。

試作ユニットの特徴は、同一受信特性を有する2個の受光素子を近傍に配置し、コモン性の外乱光やハム雑音による影響を差動アンプでキャンセルできるようにし、3個の超低ドリフトOPアンプで構成した差動アンプ回路で140dBの同相雑音除去特性を実現したことである。試作したディテクターユニットを写真2に示す。

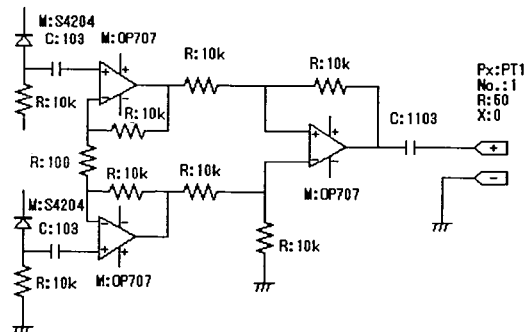


図2 デテクターユニットの回路構成

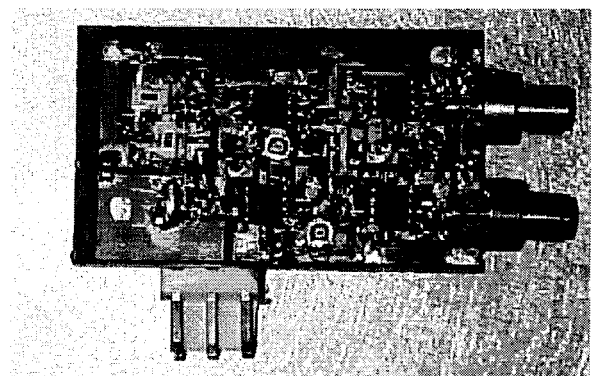


写真2 試作ユニット

## 2. 2 供試体とその配置

供試体は、人体組成に近い豚肉を主原料としたスライスハム（肉厚：2mm）を積層したものを使用した。このハムは、脂肪層が攪拌されて混入されているために、豚肉より高い光散乱媒質であると推定される。

供試体は、透過光軸上に光源側から2mmφ、1mmφの貫通口を開けたロ型アルミ容器内に配置した。さらに、ロ型アルミ容器から2mmの位置に1mmφのスリットを置いた後方に受光素子を配置し、散乱光の混入を低減し、光軸中心近傍の透過減衰量を測定できるようにした。

容器内に配置した供試体にパルス光を照射しているところを写真3に示す。

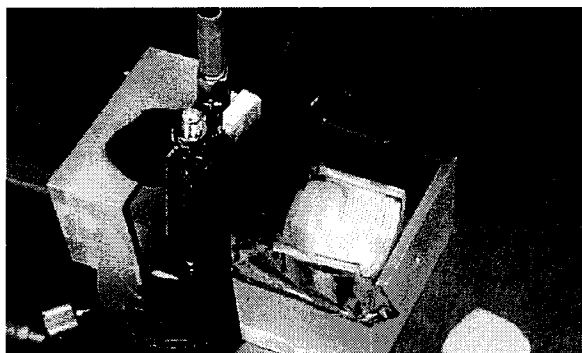


写真3 供試体の配置

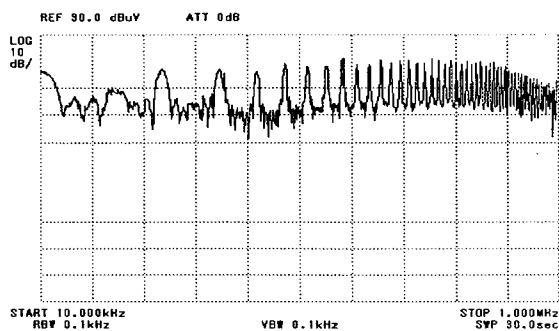


図3 デテクターユニットの周波数感度特性

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 試作ディテクターの感度特性

試作ディテクターユニットの周波数感度特性曲線は、図3の離散スペクトルの各ピークを結んだ包絡線で示される。

図4に示したRBWを100Hzで測定した100kHz近傍スペクトルの低レベルで分布するスペクトルは、AC電源の高調波ノイズ成分である。それぞれの測定は、次の条件で行った。

測定条件

LD光源の変調周波数：10～1000kHz（間欠可変）

LDレーザ電流：50mA

スペクトラムアナライザ（R3271A）：図3のRBW 100Hz、図4のRBW 10Hz

試作ディテクターユニットによる100kHzのパルス変調LD光の受信波形とスペクトルを図5、図6に示す。それぞれの結果は、図3に示された周波数感度特性を有するディテクターユニットの応答として出力されたものである。

### 3. 2 透過光減衰量の測定結果

透過光減衰量を測定する上で、供試体表面部の反射損出が極めて大きいため、ダイナミックレン

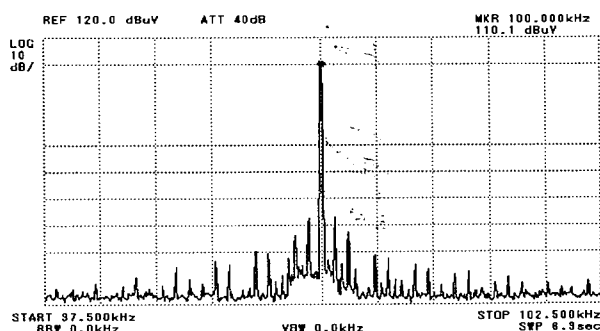


図4 100kHz近傍のスペクトル分布

試作ディテクターユニットによる変調光の受信波形

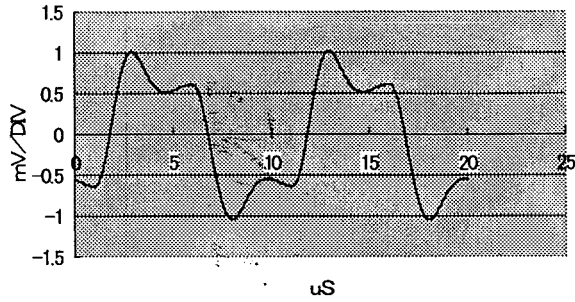


図5 パルス変調光の受信波形

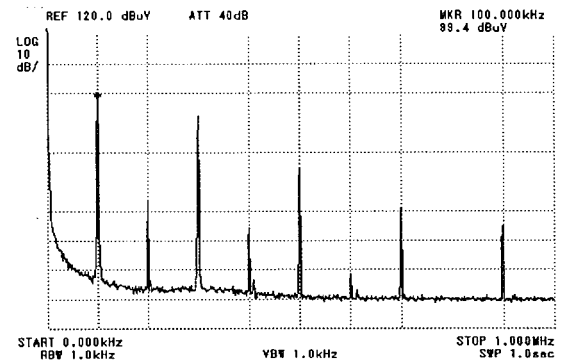


図6 受信信号のスペクトル

ジ97dBの測定系では測定が困難であり、LD光源のパワーレベルを調節して表層部と深部に分けて透過減衰量を測定し、それぞれの測定結果を突合して全体の透過減衰量を算出した。

値の推移を図8に示す。

(1) 供試体表層部の透過光減衰量の測定結果

測定条件

LD変調周波数：100kHz LDレーザ電流：32.2mA

図7-1、2、3は、スペクトラムアナライザで捕らえたパルス変調光の100kHz近傍のスペクトルである。供試体表層部の厚みに対するピーク

スペクトラムアナライザ (R3271A)：RBW 10Hz、SPAN 200Hz、ATT 40dB

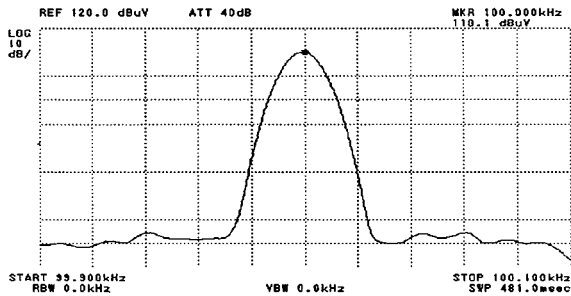


図7-1 透過光量 (供試体無し)

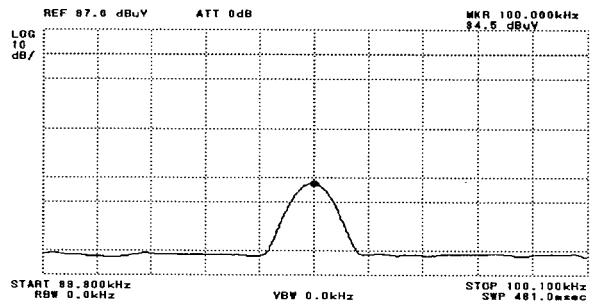


図7-2 肉厚 2mm

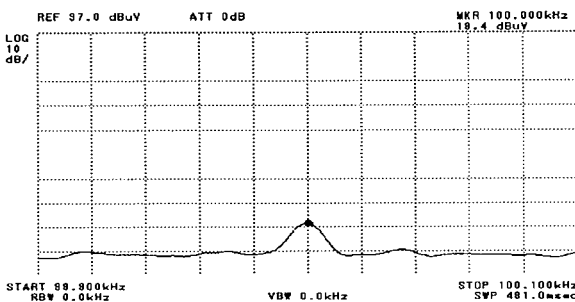


図7-3 肉厚 4mm

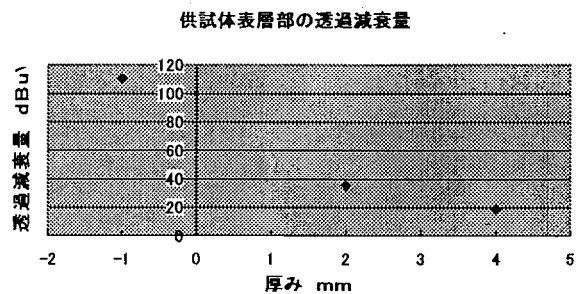


図8 表層部の厚みに対するピーク値の推移

(2) 供試体深層部の透過光減衰量の測定結果

図9-1、2、3、4は、スペクトラムアナライザで捕らえたパルス変調光の100KHz近傍のスペクトルである。供試体深層部の厚みに対するピーク値の推移を図10に示す。

測定条件

LD変調周波数：100KHz  
 LDレーズ電流：61.5mA  
 スペクトラムアナライザ (R3271A)：RBW 10Hz、SPAN 200Hz

測定条件

LD変調周波数：100KHz  
 スペクトラムアナライザ (R3271A)：RBW 10Hz、SPAN 200Hz

図8、図10の厚みが2、4mmのそれぞれの差分量は、16.69dB 16.38dBであり、誤差が2%以

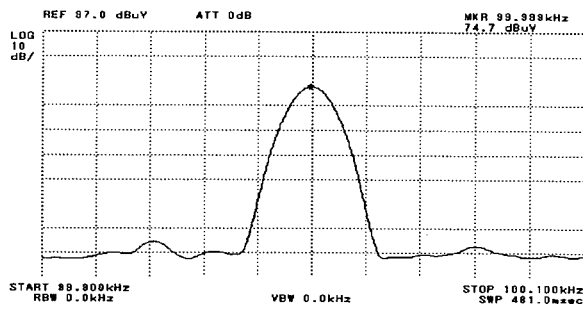


図9-1 肉厚：4mm

内と小さく、表層部と深層部の測定結果には互換性があると見て、それぞれの測定結果を突合して全体の透過減衰量を算出した。図11に算出した結果を示す。

図11の左上の110dBの値は、供試体の無い場合の透過光量を示している。

厚み0mmの値は、厚み10~24mmの傾斜から推定した表面の反射減衰量である。

3.3 考察

図11の結果に於いて、表層部の減衰量が非線形に推移しているのは、表層部の散乱光強度が大きいためディテクターへの混入量が増えたことに起因した結果であると推定される。

深層部の透過減衰特性は、減衰量が透過距離に対して指数関数的に減衰していること示している。このことは、試作した低周波のパルス変調光を用いた測定系が、Beer法則に従って指数関数的に減衰して行くような生体断層などの光透過減衰量

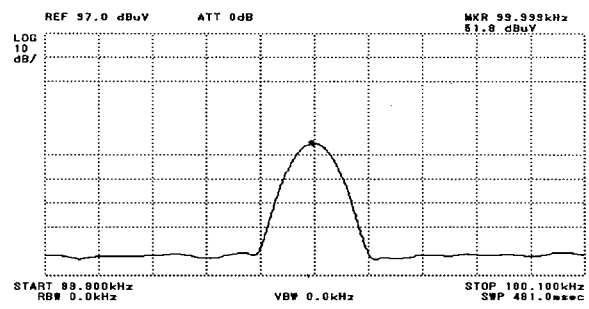


図9-2 肉厚：10mm

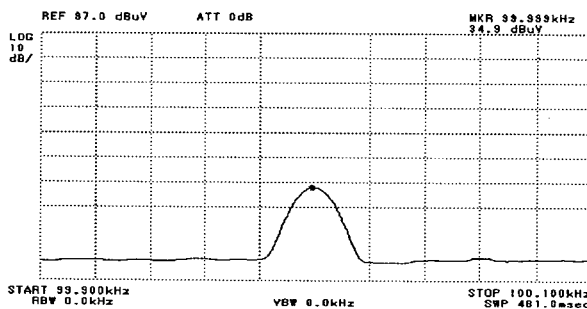


図9-3 肉厚：16mm

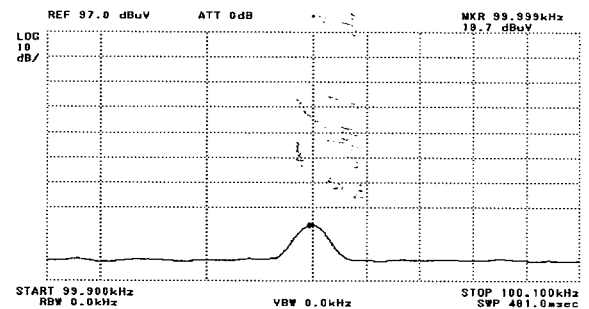


図9-4 肉厚：22mm

供試体の厚みに対する透過光の減衰量

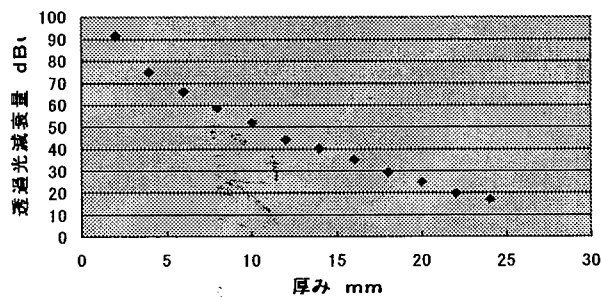


図10 深層部の厚みに対するピーク値の推移

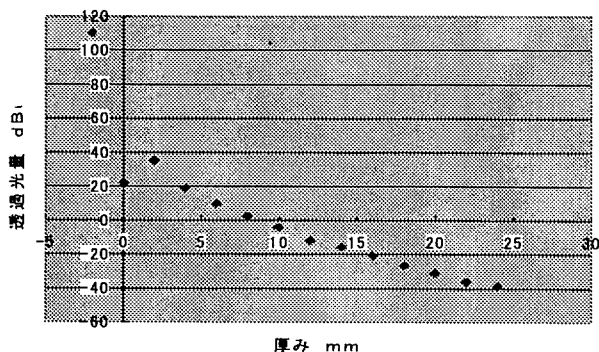


図11 透過減衰量と反射損失の推定値

の測定方法として有効であることを示しており、ディテクターユニットの高感度化と外乱除去、散乱光の影響を排除するための光学系の改良などを図ることによって、厚さ数cmの生体断層の透視が可能な装置を実現できるものと考えられる。次に、実験結果から予測できる測定系の改良課題を列挙する。

- 測定結果は、供試体表層部での散乱光の影響を大きく受けており、この影響を低減するための測定系の改良が必要である。
- 試作したディテクターユニットの回路構成は、

低周波の電源ハム、外乱光などコモン性の外乱除去に有効であり、さらに外乱影響を低減する必要がある。

- 超微弱光に対する高感度化とダイナミックレンジの拡大を図るために、ディテクター素子の改良と、対数増幅機能を有するローノイズ差動アンプの実現などの改良が必要である。

#### 4. 結 言

本研究は、生体の窓とされている近赤外光を用いて生体断層を透視するための主要な要素技術の1つであるセンシングユニットの実用化を目指し、低コストで実現できる低周波のLDパルス変調光を用いて高光散乱媒質である豚肉を主原料とする加工肉の透過減衰量を電源ハム雑音や自然光、蛍光灯などの外乱の多い環境下でも高感度で測定できる方法について検討した。

試作ユニットを用いた測定実験の結果、供試体とした高光散乱媒質の透過光減衰量がBeerの法則を満たして指数関数的に減少していることを確認でき、コモン性の外乱の多い環境下でも低コストの測定系を実現する有効な方法として可能性があることを検証することができた。

今後は、ディテクターユニットの高感度化を図ると共に、光散乱媒質内の散乱光の影響を排除して光軸近傍を透過光のみ計測するための光学系の改良をし、厚さ数cmの生体断層の透視の可能な測定方法を検討して行く予定である。