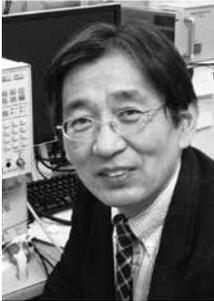


## 近赤外光を利用した容器内液体検査



いとぎき・ひでお  
大阪大学大学院工学研究科  
修士。Northwestern Univ.  
博士。住友電気工業，物  
質材料研究機構勤務を経  
て，大阪大学大学院基礎工  
学研究科教授，現在，大  
阪大学名誉教授 PhD  
(Materials Science and  
Engineering)。

糸崎 秀夫

### ● 1. はじめに ●

2005年にロンドンで発生した同時多発テロにおいて、液体爆発物が使われた。従来テロなどで利用される爆発物は主に固形爆発物が用いられていたため、取り締まり当局では衝撃が走った。すなわち、それまで液体爆発物の検査が実施されていなかったからである。その後も、航空機への液体爆発物持ち込みなどのテロ攻撃が行われたため、航空機への液体物持ち込みの規制が世界レベルで実施され、現在に至っている。その理由は、容器に入った液体物の簡便な検査技術が、それまでになかったからである。そこで、欧米を中心に液体物検査技術の開発が始まった。多様な方式が提案されている。すなわち X 線，電磁波，光，音波などを用いた方式が検討され，それぞれに製品化され一部は空港警備への導入が始まっている。いずれの方法も必ずしも完璧ではないため，補完的に複数の検査装置による運用が望ましい。

本論文では，国内で唯一実用化を果たした近赤外光及び超音波を用いた液体検査について紹介する。爆発物検査のみならず，多様な利用の可能性についても言及する。

### ● 2. 各種液体検査方法 ●

爆発物検査を目的とした液体検査装置にはいく

つかの方法がある。その概要を紹介する。

・ X 線を用いた方法：手荷物検査においては，従来より X 線の透過による検査が実施されている。この方法においては液体物が入った容器の形状などにより，ある程度の検査は可能である。さらに，X 線の後方散乱を利用すると物質の同定も可能であり，液体内容物もある程度判別可能となる。この方法では，透過性の高い X 線を用いるため，カバンなどの中に隠匿されている液体物の検査も可能である。しかし液体の判別精度は必ずしも高くないため，液体物が含まれる容器を見つけた場合には，さらに別の方法で内容物をより高い精度で検査することになる。

・ 電磁波を用いた方法：電磁誘導により内容物の導電率を測定する方法である。これは，比較的簡便な装置で対応が可能であるが，爆発液体の判別精度は必ずしも高くないため，可燃物検査装置としての利用が行われている。

・ 核磁気共鳴を用いた方法：磁場中において電磁波を照射して分子の核磁気共鳴を利用する方法。紙パックなどでも検査できる特徴があるが，金属容器には適さない。

・ ラマン分光法を用いた方法：レーザ光を照射し液体分子で散乱されたレーザの波長シフトから分子を同定する方法。液体の検査としては精度よく計測が可能な方法であるが，強力なレーザを用い

ていることや、容器による影響などがある。

・近赤外光を用いた方法：液体の光の透過スペクトルから液体物を同定する方法。不透明容器は検査できない。

・音波を用いた方法：液体中の音速測定による方法である。電磁波や光は金属を透過しないために、金属缶の内容物検査として開発された。

以上のように多様な検査技術が検討され、製品化が進められている。それぞれに長所短所を有しており、多様な検査対象に対しては、複数の技術の併用で対応することが望ましい。

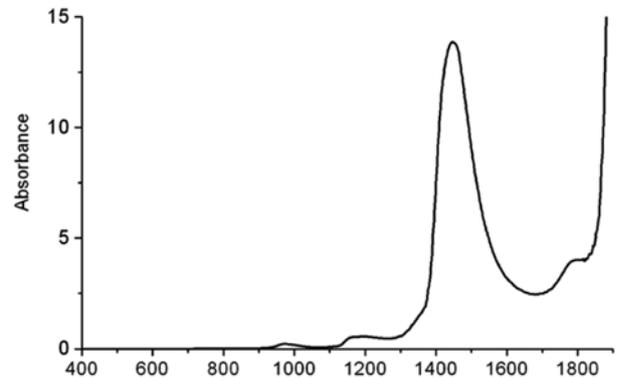
本論文では、著者が検討を進めてきた近赤外光を用いた方法と、音波を用いた方法について紹介する<sup>1) 2) 3)</sup>。

### ● 3. 近赤外光による液体検査の原理 ●

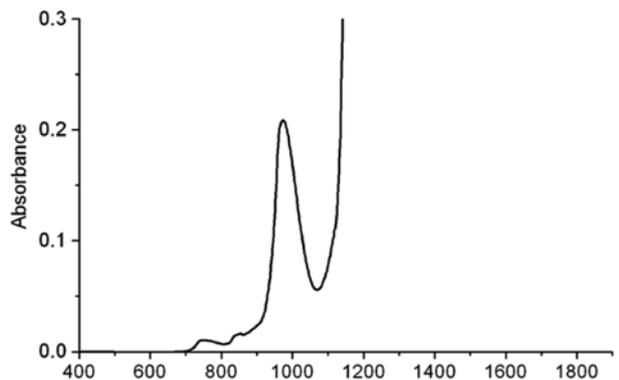
液体物の分析として赤外線分析が従来から用いられているが、水溶液の場合には第1図に示すように、光の波長が1ミクロン付近で大きな吸収があるため、これまでは水溶液分析は、1mmまたはそれ以下の短い光路の容器を用いて、数ミクロンの波長領域で分析が行われてきた。しかし一般的な容器の直径は数cm以上あるため光が透過せず、このような従来の方式が利用しにくい。第1図ではほぼ光吸収がないようにみえる1ミクロン付近の光吸収を第1図の縦軸を大きく拡大して第2図に示す。水の光吸収端の短波長側の光吸収はかなり小さいが、0.2程度の光吸収係数のピークが存在し、波長1ミクロンより少し短波長側を利用することを検討した。

### ● 4. 各種液体物の光吸収スペクトル ●

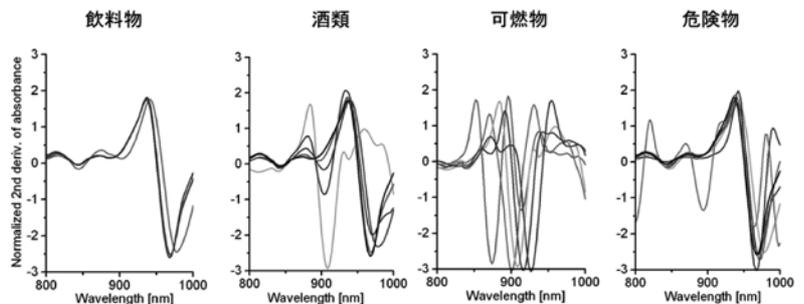
第3図には各種液体物の光吸収スペクトルを示す。それぞれのスペクトルは比較しやすいように、



第1図 水の光吸収係数 波長1.5ミクロン付近の水による強い光吸収

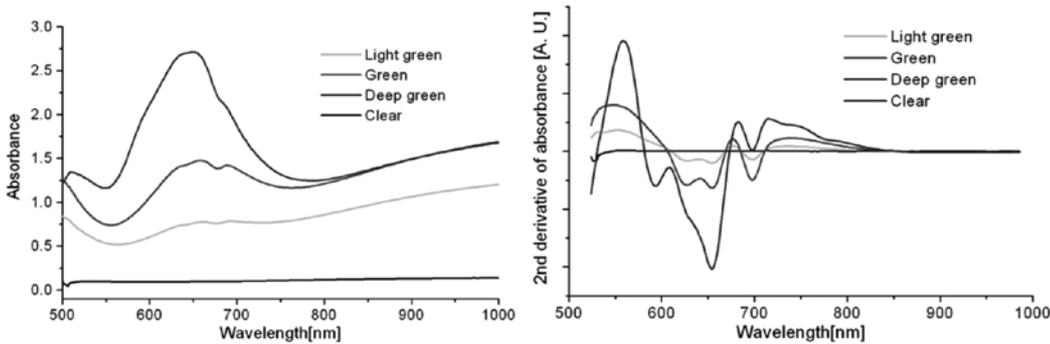


第2図 第1図の縦軸を拡大した図 波長1ミクロン付近の水の弱い吸収ピーク

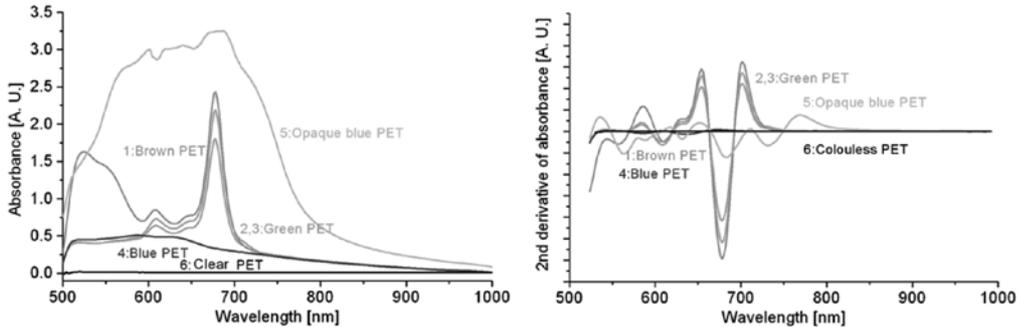


第3図 各種液体物の光吸収スペクトル（2次微分標準化）  
（カラー写真をHPに掲載C043）

2次微分標準化したものを示している。非アルコールの飲料物では、950nm付近に大きな吸収ピークが認められる。これは水による吸収を示している。次に酒類のスペクトルでは、水の吸収ピークに加えて900nm付近にやや小さい吸収がみられる。これは酒類に含まれるアルコールによる光吸収を示すものである。次に可燃液体物のスペク



第4図 色付きガラスびんの光吸収スペクトル  
(左：光吸収スペクトル 右：光吸収係数の2次微分スペクトル)  
(カラー写真をHPに掲載 C044)



第5図 色付きペットボトルの光吸収スペクトル  
(左：光吸収スペクトル 右：光吸収係数の2次微分スペクトル)  
(カラー写真をHPに掲載 C045)

トルでは、水は含まれていないため、それぞれの液体物の有機物成分のCH基などに由来する吸収ピークが特徴的に認められる。さらに酸やアルカリなどの危険液体では水のピークと合わせて、それぞれに含まれる成分に由来するスペクトルが認められる。このように、多様な液体物であっても、それぞれが特有のスペクトルを有していることがわかる。よって、これらの近赤外光スペクトルを利用すると、液体の判別が可能であることがわかる。

## ● 5. 容器による影響 ●

液体物検査では、容器に入ったまま液体物の検査を実施する。そのため、容器の着色による光吸収の影響が液体スペクトルに重なり、液体物検査への影響が懸念される。

第4図には色付きガラスびんの光吸収スペクトルを示す。第4図の左図は吸収スペクトルを示す。

緑色びんでは、650nm付近に強い吸収がみられるとともに750nm以上においてもほぼ様な吸収がみられる。そこで、これらスペクトルを2次微分したスペクトルを第4図の右図に示す。800nm以下においては複雑なスペクトルを示しているが、800nm以上ではほぼ平らな状態となっている。すなわち、2次微分スペクトルを用いることにより、800nm以上では、

色付きガラスびんによる色の影響はほとんどないことがわかる。

次に第5図の左図では、各種色付きペットボトルの光吸収スペクトルを示す。茶色や緑に着色されたペットボトルでは680nmに強い吸収がみられる。また透明度の低い青のペットボトルでは、500nmから800nmにかけて幅広く強い光吸収がある。これらはペットボトルを着色する色素による吸収である。第5図の右図には、着色したPETボトル光吸収の2次微分スペクトルを示す。ガラスびんの場合と同様に、800nm以上ではほぼフラットであり、ボトル内に入っている液体の光吸収係数に影響を及ぼさないことがわかる。

したがって、800nmから900nm付近の光スペクトルを利用することにより、着色したガラスびんやペットボトルに入った液体を検査することができる。

### ● 6. 光散乱体を含有した液体の検査●

牛乳などの白濁した液体は、コロイド上の微粒子が水に分散している液体であり、微粒子が光を散乱するために、光を透過しにくい。そのため、光の透過により光吸収特性を評価することが難しい。このような光散乱体を含有した液体の検査においては、透過法ではなく反射方式を用いれば、液体の光吸収を測定することが可能である。

### ● 7. 近赤外光を用いた液体の分析装置●

近赤外光を利用した容器内液体の検査装置の概念図を第6図に示す。中央に検査する液体容器を配置している。左右に光照射用のハロゲンランプを配置し、右側に分光器及び分光器に光を導く光ファイバーを配置している。

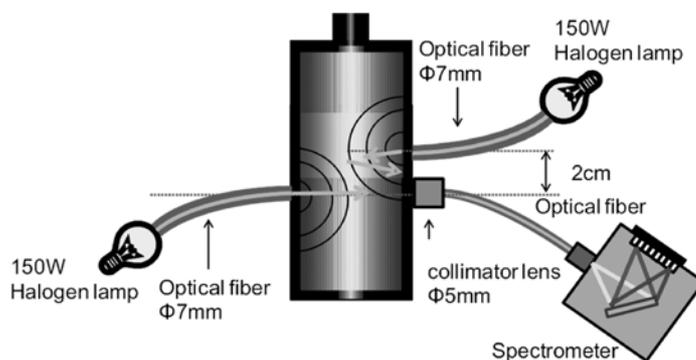
光を通す検査対象に対しては、分光器に光を取り込む側と対峙する側から照射した光が、液体を通過したのち光ファイバーを通して分光器に入り、スペクトルを取得する。一方、牛乳などの光散乱体を多く含み、光を透過しない検査対象に対しては、光を分光器に取り込む側と同じ側にあるランプで照射し、その光の反射光をとらえる方法をとる。このように、光透過法と光反射法の併用した装置を開発した。

分光器で取得したスペクトルは、コンピュータにより解析を行い、すでに取得している多様な液体物のスペクトルとの相関などにより、液体を判別する。

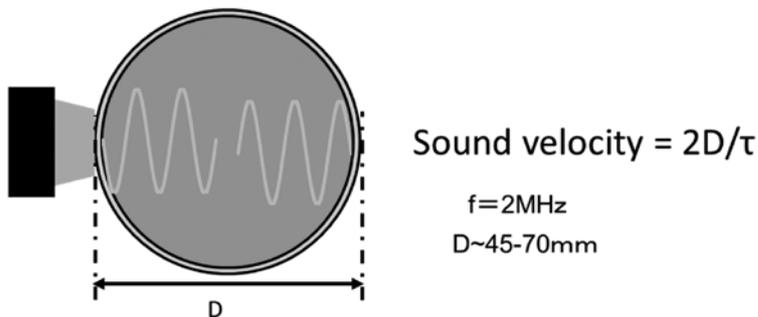
### ● 8. 金属缶の検査●

金属缶の場合には、光を用いることができない。そのため、超音波を用いた手法を開発した。第7図に示すように金属缶の一端よりピエゾ素子の振動による超

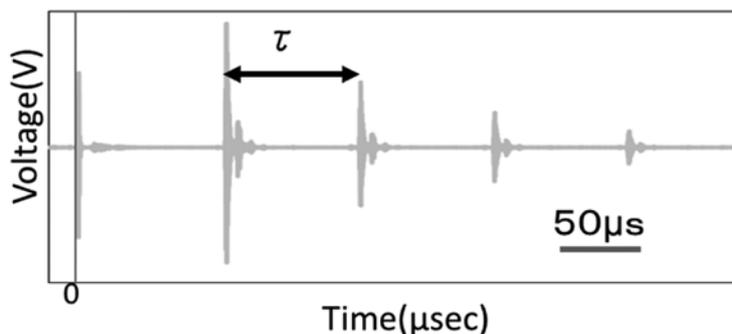
音波で金属缶表面を振動させ、液体中を伝搬した超音波が反射して戻ってきたものをピエゾ素子で検知する方法である。第8図には観察された超音波信号の波形を示す。金属缶端を一度叩くと、音波が金属缶内で次々と反射を繰り返して検出されていることがわかる。ここで計測は検知された波形と次に計測される波形の間の時間を測る。金属缶の直径を正確に測っておけば、直径の2倍を計測した時間で割れば、液体中の音速が求まる。



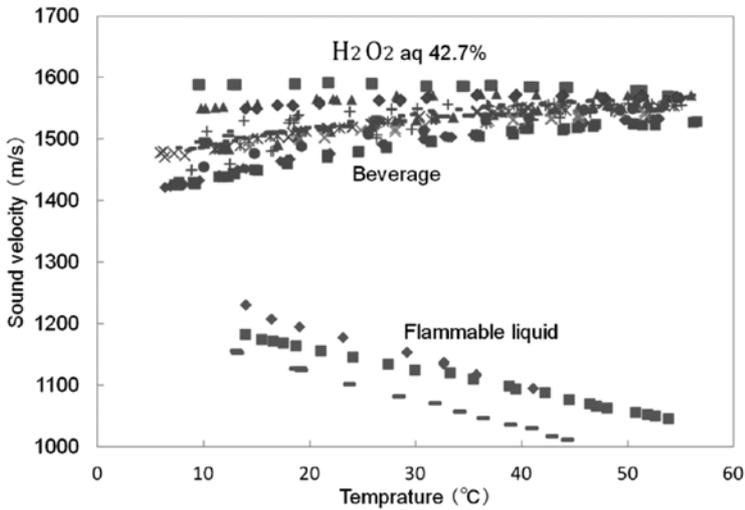
第6図 光透過法と光反射法を併用した液体検査装置の光学系概念図  
(カラー写真をHPに掲載C046)



第7図 金属缶内の液体中音速測定方法



第8図 金属缶内で反射し測定された超音波信号の例



第9図 飲料物，過酸化水素水，可燃物液体など音速の温度依存性  
(カラー写真をHPに掲載 C047)

液体中の音速は液体によって異なる。また温度依存性もある。第9図には、典型的な飲料物，過酸化水素水，可燃物液体の音速の温度依存性を示した。可燃物と飲料では音速が大きく異なっていることがわかり，簡便に可燃物を判別できることがわかる。さらに，水と性質の近い過酸化水素水についても，一般飲料物より音速がやや高いために判別が可能であることがわかる。このように，金属缶の外より簡便に内容物液体が検査可能である。

### ●9. 液体検査装置●

上述の近赤外光を用いたペットボトルやガラスびん類の液体検査と超音波を用いた金属缶の検査ができるセキュリティ対策の装置を，大阪大学より株式会社熊平製作所に技術移管し，製品化したものが第10図に示す装置である。この製品は，テロ対策のために空港に設置する装置として欧州



第10図 液体物検査装置（熊平製作所製）

のECAC（欧州民間航空安全会議）認証を受けている。そしてすでに国内外の空港などへの導入・運用が始まっている。

### ●10. まとめ●

容器に入った液体を容器から取り出すことなく簡便でかつ瞬時に検査が可能なる方法について，光の透過する容器では近赤外光スペクトルを用いる方法，金属缶では液体中の音速を測定する方法を開発した。これらの方法は，空港などにおける液体物の検査に極めて有効である。さらに各種液体の原料の入荷検査や液体製品の出荷検査，製造工程中の液体物の成分分析など多様な展開が考えられる。たとえば，酒類などの製造工程での熟成度の測定やアルコール度数の評価が簡便で瞬時に可能となることなどが考えられる<sup>4)</sup>。

液体容器に関しては，容器の材質，色，形，ラベリングなどに新しいものが次々と出てきており，それらに対応する計測技術開発が，これから求められている。

### 参 考 文 献

- 1) “Detection of liquid explosive in bottles by NIR”, H. Itozaki, Y. Yamauchi, J.Jpn.Soc. Infrared Science & Technology, (2009) Vol.18, No.2, p.42-46.
- 2) “近赤外光を用いた液体危険物検知装置”, 糸崎 秀夫, 検査技術, (2011) Vol.16, (2), p. 47-50.
- 3) “空港における最先端セキュリティセンサ”, 糸崎 秀夫, 応用物理, (2012) Vol.81, No.2, p.121-124.
- 4) “近赤外光による日本酒と焼酎の分析”, 糸崎 秀夫, 生産と技術, (2015) Vol.67, No.3, p.70-73.