

乾海苔の光学特性および透明な混入異物検出

新井康平*・山口 修**・鶴丸政則

Optical Property and Transparent Substance Detection Taking into Account Optical Property of Dried Sea Weeds

By

Kohei ARAI, Osamu Yamaguchi and Masanori Tsurumaru

Abstract: Optical property such as spectral reflectance, bidirectional reflectance distribution function and polarization characteristics of dried sea weeds is reported together with an attempt for transparent substance detection taking into account optical property of dried sea weeds. It is found that transparent substance can be detected by using bidirectional reflectance distribution function as well as polarization characteristics.

Key words: Sea Weeds, Optical Characteristics, BRDF, Polarization Characteristics, Substance Detection

1. は じ め に

乾海苔に混入する異物の検出は、

- (1) 乾海苔の各種の検査を精度よく行うことができ、また、検査で不合格となった乾海苔の後処理を効率よく行うことができる乾海苔検査装置の提供するため、搬送経路上を移動する乾海苔を検査する検査部に、この検査部の検査結果により乾海苔を区分けする乾海苔区分け部が連設された乾海苔検査装置において、検査部が、乾海苔内部の異物の有無を検査する内部異物検査手段、乾海苔上面の異物の有無を検査する上面異物検査手段、乾海苔下面の異物の有無を検査する下面異物検査手段、未乾燥を検査する未乾燥検査手段、形状を検査する形状検査手段を備え、乾海苔区分け部は、合格乾海苔と不合格乾海苔を区分けする合格乾海苔不合格乾海苔区分け手段と、この手段で区分けされた不合格乾海苔を前記検査手段の検査項目別に区分けする手段を備える⁽¹⁾。
- (2) 乾海苔の表面からの反射光から乾海苔の表面の色調を検出しているので、乾海苔の微妙な焼き加減を検出できないため、これをかけつするよう、乾海苔の焼き状態を検出する撮像手段と、この撮像手段の出力信号をR・G・Bの3原色に分解する画像処理手段と、この画像処理手段

の出力信号を基準値と比較する比較判定手段を備える⁽²⁾。

- (3) 乾海苔の品質検査の作業能率を向上させるとともに、客観的で公正な評価を行うため、波長特性並びに照度の整えられた光源で照明された標品の反射光をCCDに取り込み色及び艶を数値化し、仮想品質の乾海苔について得られる色及び艶に関する多次元情報により仮想品質空間領域を形成し、前記数値化された色及び艶の多次元情報の、前記仮想品質空間領域への適合率を求め、適合率と品質指標値との関係から一次元の等級を表現する⁽³⁾。
- (4) 乾海苔の表面に付着した異物、乾海苔の裏面に付着した異物、乾海苔の内部に含まれる異物を確実に検出できる乾海苔の検査装置を提供することを目的とし、乾海苔の下面を吸引ドラムで軽く吸着し、光源の光を照射してその反射光を光学手段で受光して、乾海苔の表面に付着する異物を検出する。また光源の光を光拡散板で散乱させて乾海苔を透過させ、光学手段で受光して内部に含まれる異物を検出する。また乾海苔の上面を吸引ドラムで軽く吸着し、光源の光を照射してその反射光を光学手段で受光して、乾海苔の裏面に付着する異物を検出する⁽⁴⁾。
- (5) 乾海苔の検査の重要な検査項目である色調に注目し、光吸収をパラメータとした客観的な評価を行うことができる乾海苔の非破壊検査方法を提供するため、乾海苔円形サンプルホルダーにセットし、前記乾海苔に光を照射し、前記乾海苔への光の吸収を音に変換し、その音響出力を

平成 20 年 11 月 1 日受理

*理工学部知能情報システム学科

**ニシハツ産業(株)

©佐賀大学理工学部

増幅器で増幅し、記録装置に記録する⁽⁵⁾の方法が提案されている。乾海苔の光学的特性が必ずしも明らかにされておらず、如何なる光学的特性が混入する異物検出に有用であるかは明確ではない。また、光学的特性による乾海苔への混入異物の検出においてテグス等の透明な異物の場合は困難である。本報告では乾海苔の分光反射率特性、双方向反射率特性、偏光特性を明らかにするとともにそれら特性に基づく透明異物の混入を検出方法を提案するものである。

2. 乾海苔の光学特性

分光放射計 MS720(350nm-1050nm)を用いて代表的な乾海苔の裏表の分光反射特性およびその角度特性(双方向反射率特性: BRDF(Bi-Directional Reflectance Distribution Function))、表の s と p 偏光成分の反射率および直線偏光度を計測した。分光放射計の光学系の前面に偏光子を取り付け、偏向角を変化することができるように工夫している。計測結果を Fig.1 に示す。

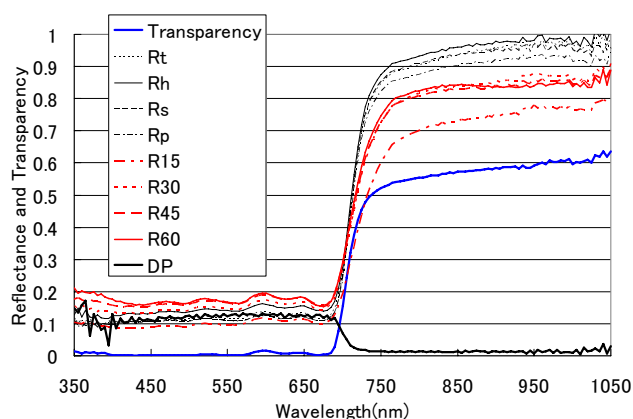


Fig.1 Spectral reflectance as a function of observation angle and transparency as well as s and p polarized reflectance together with degree of polarization of the typical dried sea weed.

図中、観測角は天頂角で表している。乾海苔の含水率によって、特に、940nm における水の吸収域における反射率は大きく異なる。この特性を用いて含水率を推定することも可能である。紫外から赤エッジまでの波長域における反射率は 0.2 以下と低いが、近赤外波長域では極めて高い。また、透過率についても同様に紫外から赤エッジまでの波長域において極めて低いが、近赤外波長域では半透過となっていることが分かる。したがって、透明な混入異物の検出には異物混入がない乾海苔とある乾海苔の反射率のみならず、透過率の相違を利用することが可能である。また、乾海苔の裏表の反射率の相違は、光沢のある表海苔面の反射率が表面粗度の大きな裏海苔

面よりも若干高いことが分かる。

直線偏光度 DP は式(1)によって定義できる。

$$DP = (R_{max} - R_{min}) / (R_{max} + R_{min}) \quad (1)$$

すなわち、偏向角を変化させて乾海苔の反射率を計測し、その最高 R_{max} と最低 R_{min} とによって計算できる。Fig.1 から、乾海苔は紫外から赤エッジにかけて DP は 0.1 以下であるが、近赤外波長域では殆ど偏光特性を有しないことが分かる。さらに、観測角度を変化させた場合の反射率は、観測天頂角 0 度、すなわち、直下方向の反射率が最も低く、てんちょうかくが大きくなるにしたがって反射率が高くなることが確認できる。500nm における反射率を観測天頂角の関数として表すと、Fig.2 に示すようになっており、乾海苔表面の BRDF 特性はランベルト性ではなく、ミネラルト反射則⁽⁶⁾にしたがっていることが分かる。

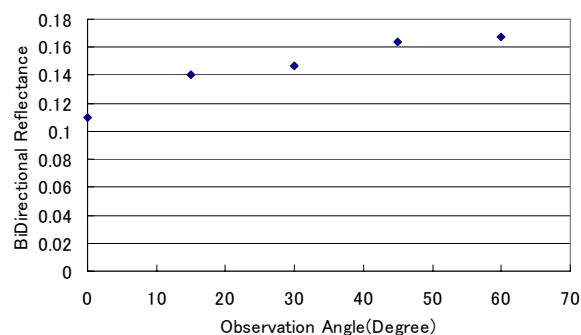


Fig.2 BRDF of the typical dried sea weed.

また、偏光角を変化させて各偏向角における乾海苔の分光反射率を計測した。その結果を Fig.3 に示す。また、図中に各偏向角における反射率から推定した直線偏光度を同様に示す。さらに、観測波長 500nm における反射率の偏光特性を Fig.4 に示す。

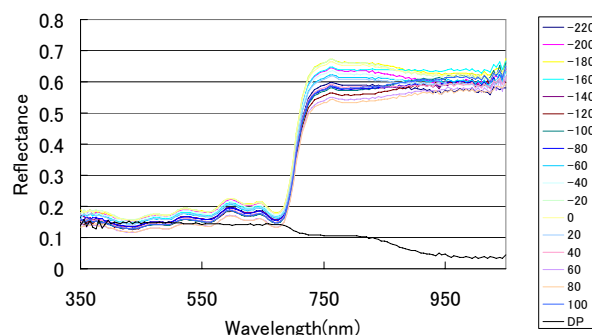


Fig.3 Spectral reflectance as a function of polarization angle and degree of polarization of the dried sea weed.

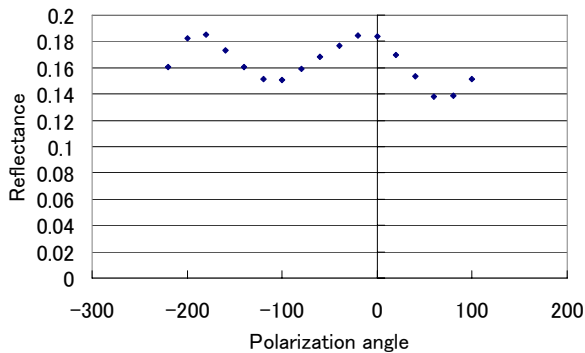


Fig.4 Reflectance at 500nm as a function of polarization angle.

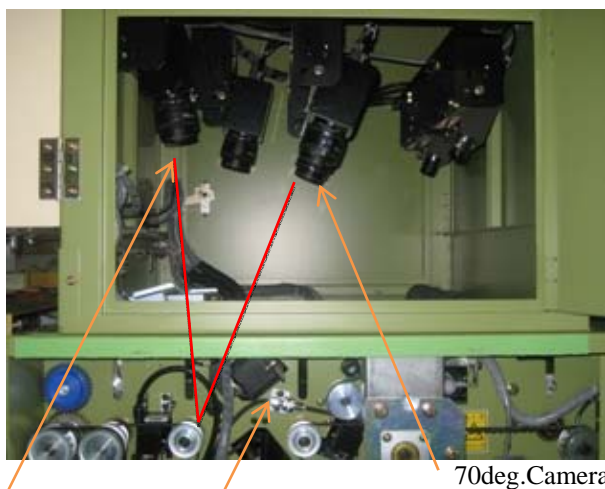
これらの計測結果および推定結果から、

- (1) 乾海苔に混入している異物を検出するために、特に、近赤外波長域における反射率および透過率は有効である、
- (2) 双方向反射率特性はテグス等の透明な異物を検出するために有用である、
- (3) 直線偏光度も透明異物の検出に有効である、ことが分かる。

3.2 方向反射率を用いた透明な乾海苔混入異物検出

3.1 計測コンフィギュレーション

海苔表面に付着した異物は、海苔面に対して光源を40度、表反射観測用カメラを70度に配置した。また、表反射観測用カメラを100度のところに同様に配置して、双方向反射率を計測する。計測コンフィギュレーションをFig.5に示す。2つの表反射カメラの波形を比較してみる。



100degree Camera 40degree light source
Fig.5 Measurement configuration (Side view)

表反射光源は20W(3波長昼光色)の蛍光灯をイン

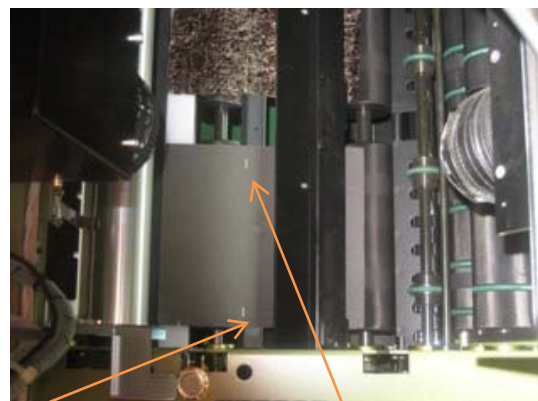
バータ点灯している。ガラス面に偏光フィルムを貼り付けている。Fig.6の写真のように偏光フィルムを光源上に90度ずらして置くと光を通さないようになっている。表反射カメラはFig.7のCCDラインカメラ(白黒)を用いた。CCD部分に蛍光灯光源とは直交するように偏光フィルムを貼り付けている。計測コンフィギュレーションの上面図をFig.8に示す。図中、光軸調整用の基準位置に置かれた標準白色紙を配置している。また、その上部に乾海苔を配置している。現実の乾海苔異物混入検出の際は乾海苔がこの中を高速に移動することになる。



Fig.6 Light source used (20W three wavelength combined quasi natural light source with polarization film)



Fig.7 CCD used.



Alignment adjust paper Alignment adjust paper
Fig.8 Measurement configuration (Top view)

3.2 実験に用いた乾海苔

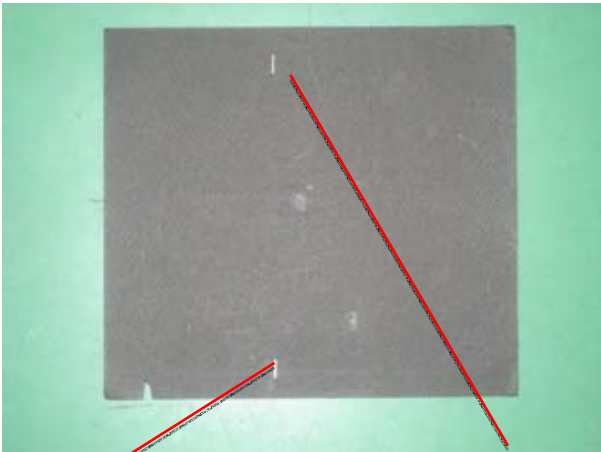
実験に使用した代表的な乾海苔の写真を Fig.9 に示す。色、つや、表面粗度、含水率等のすべての点で代表的な乾海苔である。



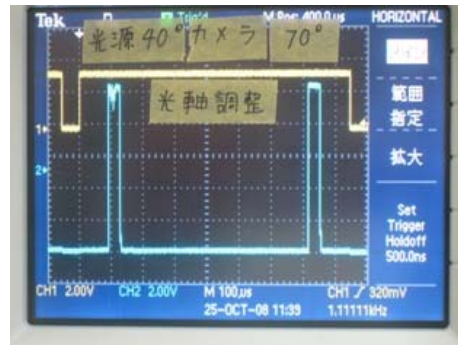
Fig.9 The typical dried sea weed used.

3.3 光軸合わせ

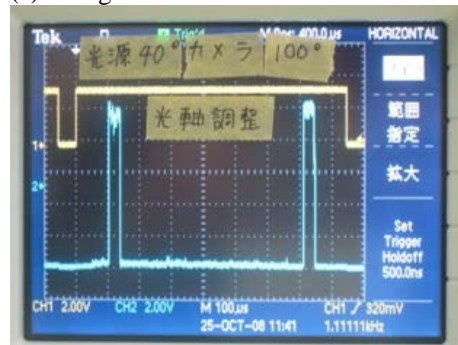
70 および 100 度カメラの光軸を合わせるため、Fig.10 に示すように乾海苔表面に光軸調整紙を基準位置に貼り付けた。カメラ出力をモニタしながら、両カメラが同じ光軸調整紙を見たときの出力位置を合わせるように光軸を調整した。光軸調整におけるカメラ出力の波形を Fig.11 に示す。



Alignment adjust paper Alignment adjust paper
Fig.10 Alignment adjust for both of cameras with two white alignment adjust papers



(a)70 degree camera

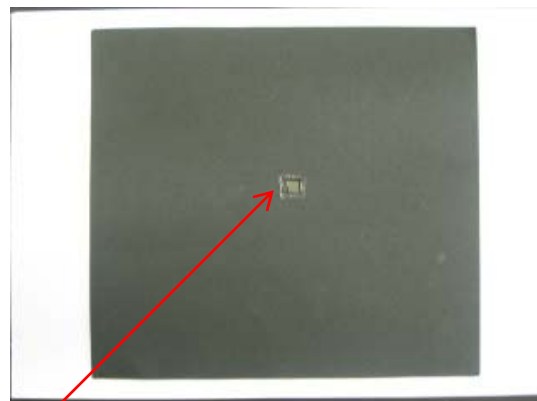


(b)100 degree camera

Fig.11 Camera output when alignment adjustment for both 70 and 100degree cameras.

3.4 感度調整

基準になる感度調整用基準色を Fig.12 に示す日本塗料工業会番号 C 2 2 -40D (マンセル番号 2. 5 Y 4 / 2) に定め、表反射カメラの光軸上に基準色置いて、2つのカメラが同じ感度 (波形電圧) になるように絞りを調整した。このとき、感度が 33 になるように調整した。



C22-40D
Fig.12 Standard color of C22-40D

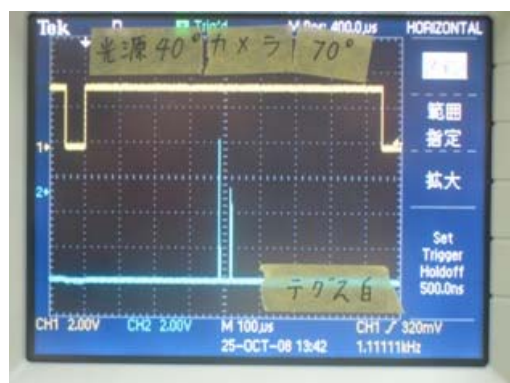
3.3 テグスの検出実験

太さ約 0. 2 mm 長さ 35mm の乳白色のテグスを用いて試験した。Fig.13 に当該テグスを示す。U の字の形をしているテグスを光軸上に太さ 0. 2 mm 長

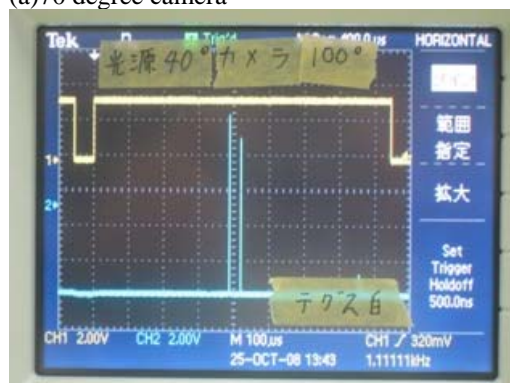
さ 3.5 mm に状態にて乾海苔上に置いた。カメラ出力波形を Fig.14 に示す。テグスからの反射光は BRDF が変化するために 70 度カメラと 100 度カメラとでは 1.25 倍も異なるため(100 度カメラの出力の方が正反射に近いので感度が高くなっている)、テグスの検出が可能であることを確認できた。



Fig.13 Transparent fish line used (in the red circle)



(a)70 degree camera



(b)100 degree camera

Fig.14 Camera output from the transparent fish line on the head surface of the dried sea weed.

また、テグスの位置を変えた場合の 70 度カメラおよび 100 度カメラの出力およびそれらの比を Table 1 に示す。この表からもテグスが如何なる位置にあっても検出が可能であることが分かる。

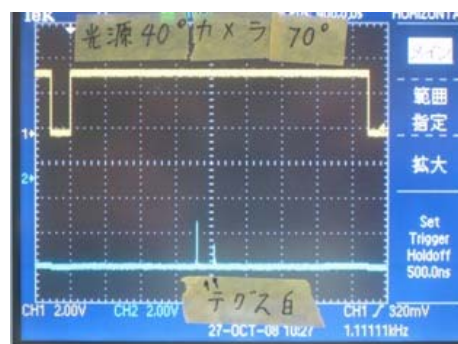
Table 1 Camera output difference between 70 and 100 degree cameras when both cameras observe the same fish line (locations are different).

	異なるテグス位置の感度					平均
70 度	34	20	36	25	34	29.8
100 度	144	25	134	53	114	94
100 度/70 度	4.2	1.3	3.7	2.1	3.4	3.2

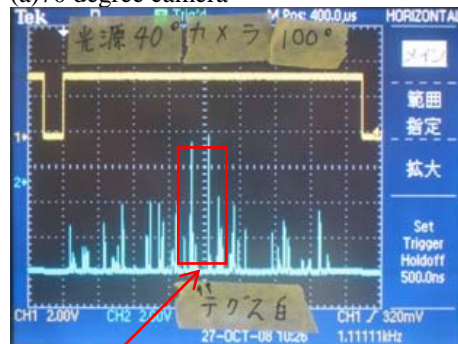
乾海苔裏面は表面粗度が高く、ここにテグスのような異物が混入、または、張り付いている場合の検出能力を確認した。Fig.11 にテグスが裏面に張り付いた乾海苔を示す。



Transparent fish line is hard to see
Fig.11 Dried sea weed with transparent fish line attached to the tale surface.



(a)70 degree camera



(b)100 degree camera

Fig.10 Camera output from the transparent fish line on the tale surface of the dried sea weed.

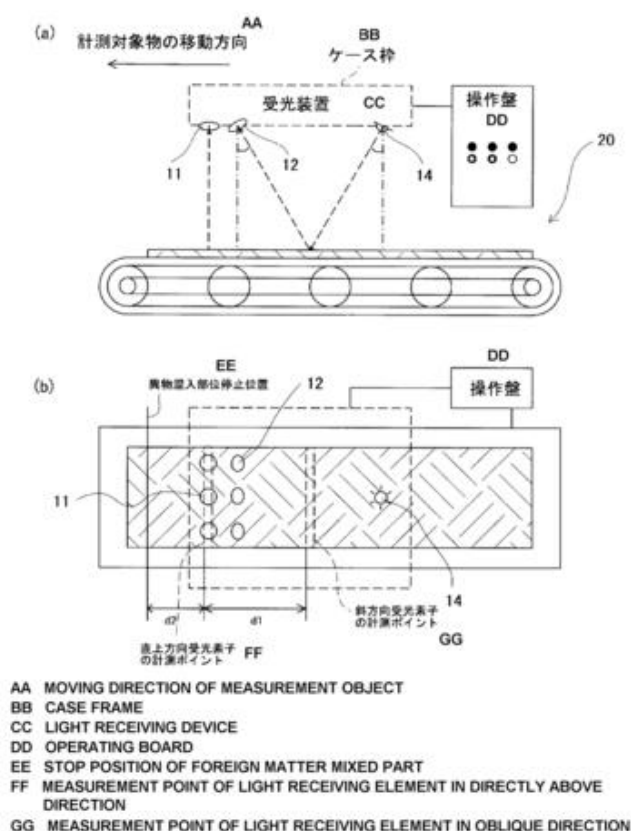
カメラ角度 70 度の場合、テグスは他の部分に比べ波形がはっきりしている。乾海苔の裏面粗度の出力波形上の影響は全くない。カメラ角度 100 度の場合、乾海苔の裏面粗度の山部分が波形に現れ、テグスと乾海苔の識別が困難になっている。乾海苔の反射を抑えるために、光源部分とカメラ部分に偏光フィルムを 90 度ずらして貼り付けているにもかかわらず乾海苔の裏面粗度の影響を抑えることが満足にできなかった。

4. お わ り に

実験結果から 100 度に設置した表反射カメラの場合、乾海苔表面の状態が良い場合はテグスを検出できるが、乾海苔裏面粗度の影響を受けたときにはテグスの検出は困難であるのがわかった。

なお、付録に示す出願中の特許では、これら諸問題に解決手段を与えることが分かっている。

付 録 : (EN) FOREIGN MATTER DETECTOR AND DETECTION METHOD、(JA) 異物検出装置及びその方法



検出が困難な異物が計測対象物に混入している場合であっても精度良く検出することができる異物検出装置を提供する。直上方向受光素子 11 では略相違のない反射率が求まってしまうのに対し、斜方向受光素子 12 を用いて測定対象物の反射率を求めており、検出困難な異物が混入している場合であっても相違ある反射率を求めることができ、加えて、斜方向受光素子 12 で反射率を求めた部位に関して直上方向受光素子 11 を用いて反射率を求め、(斜方向反射率/直上方向反射率)を求めて異物の混入していない(斜方向反射率/直上方向反射率)と比較して異物の混入の有無を判断しており、単に測定対象物の反射率を比べる場合と比して精度良く異物を検出することができる。

Pub. No.: WO/2007/09 International PCT/JP2006

6953 Application No.: /303146

Publication International 22.02.2006

Date: 30.08.2007 Filing Date:

参 考 文 献

- (1) 宮崎 金男、乾海苔検査装置、特許公開 2007-312651、2007 年 12 月 6 日、(2007)
- (2) 井上 剛一、乾海苔焼色判別装置及びこれを用いた焼色管理方法、特許公開平 10-276732、1998 年 10 月 20 日、(1998)
- (3) 工藤 盛徳、乾海苔の品質検査方法及びその装置並びにそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体、特許公開平 11-142、1999 年 1 月 6 日、(1999)
- (4) 川島 藤夫、乾海苔の検査装置、特許公開 2001-61450、2001 年 3 月 13 日、(2001)
- (5) 斎藤 寛、乾海苔の非破壊検査方法及びその装置、特許公開 2002-186464、2002 年 7 月 2 日、(2002)
- (6) 新井康平、独習リモートセンシング、森北出版、(2000)