

# 植物生育情報取得のための超広帯域スペクトル画像計測システム -特に中赤外スペクトル計測装置を中心にして-

西村 彬<sup>1</sup>, 片岡 圭司<sup>1</sup>, 児山 祥平<sup>2</sup>, 富田 孝幸<sup>3</sup>, 久保 孝太<sup>1</sup>,  
大谷 武志<sup>1</sup>, 石澤 広明<sup>2</sup>, 齊藤 保典<sup>3</sup>

<sup>1</sup>信州大学工学部 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

<sup>2</sup>信州大学 IFES (〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1)

<sup>3</sup>信州大学学術研究院工学系 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

## Ultra-wide-band spectral imaging system for plant's growth information monitoring -Development of mid-infrared imaging system -

Akira NISHIMURA<sup>1</sup>, Keiji KATAOKA<sup>1</sup>, Shohei KODAMA<sup>2</sup>, Takayuki TOMIDA<sup>3</sup>, Kouta KUBO<sup>1</sup>,  
Takeshi OTANI<sup>1</sup>, Hiroaki ISHIZAWA<sup>2</sup>, and Yasunori SAITO<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Shinshu Univ.,

<sup>3</sup>IFES, Shinshu Univ., (3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567)

<sup>2</sup>Institute of Engineering, Academic Assembly, Shinshu Univ., (4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553)

We developed a plant monitoring system based on optical technique which could cover a wide spectrum region from X-ray to Terahertz, named a ultra-wide-band spectral (UWBS) imaging system. A mid-infrared spectrum (MIFS) imaging system was newly developed and built into the UWBS imaging system. The MIFS imaging system was consisted of a ceramic heater as an MIF source, a confocal imaging system and a HgCdTe detector with a peltier-cooled spatial filter. System performance was investigated by monitoring spectrum of some plant leaves (REDROBIN, AOKI, KUNUGI and others). Plant physical information as leaf inside structure in X-ray and physiological information such as photochemical reflectance in visible, water content in near-infrared and Terahertz, constituent information in mid-infrared and leaf-surface temperature in thermal infrared. Through these experiments, technological basics of a plant health diagnosis was established.

**Key Words:** plant monitoring, plant health diagnosis, mid-infrared

### 1. はじめに

植物は有機物質を毎年確実に生産することができることから、今後の持続的な社会基盤の確保において重要な役割を果たす。そのためには植物の健康状態に関する情報を精密に計測し、それを正確に評価する手法が必要である。現在主流の薬品による化学的手法や、分解と粉砕による破壊的手法では、調査する植物を変質、破壊してしまう。このような手法では困難な、「生きた」状態の植物の生育情報を取得し健康診断を行うことが可能な手法の開発を目指して、X線から赤外にわたる超広域波長で植物のスペクトル画像を作成するシステムの開発を行っている。本研究では、この画像システムの現状について報告を行う。

### 2. 超広帯域スペクトル画像装置

#### 2.1 全体構成

本画像システムはX線、可視、近赤外、中赤外、熱赤外、テラヘルツの6つのスペクトル帯での計測が可能であり、植物の超広帯域スペクトル特性から植物生理情報の抽出を行い、健康診断の指標を作ることを目標とする。開発した超広帯域スペクトル計測装置の全体構成図をFig.1に示す。

#### 2.2 中赤外スペクトル画像装置

##### 2.2.1 装置構成

中赤外域は分子の指紋領域と呼ばれており、植

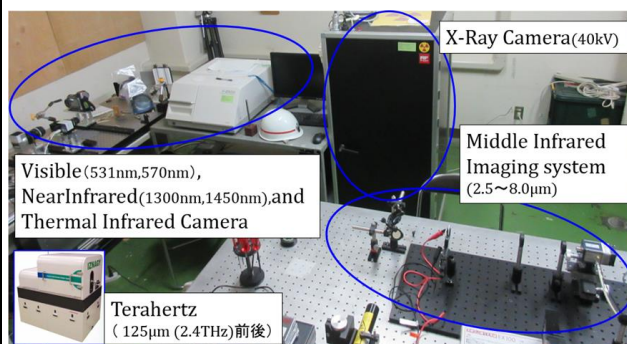


Fig.1 Overview of UWBS imaging system

物体内構成分子の情報が得られる可能性がある。しかしながら中赤外域は中赤外カメラが非常に高価であるなどの理由から、自作した計測装置による観測を行うこととした。製作した中赤外スペクトル計測装置をFig.2に示す。

光源は金属セラミックヒーター (THORABS, HT24S, 20mm×20mm) とした。光学系は対物側と結像側のレンズをいわゆる共焦点型に配置し、周囲からの散乱光の影響を排除する構成である。これに加えて、周辺環境からの熱雑音の低減を図るため、結像側レンズと検出器の間に、空間冷却フィルタを自作して配置した。また、対物側レンズの焦点距離を長くする (20cm) ことで植物葉表面の凹凸によりスポットサイズが変化することを避け、対物側レンズの焦点距離を短く (4cm) して装置の小型化を図る、などの工夫を施した。

レンズの材質は中赤外全域にかけて透過率の高いフッ化カルシウムとし、計測対象の植物の葉は精密微動が可能な二次元掃引台に設置した。

中赤外検出器には光起電力型水銀カドミウムテルル (MCT: Mercury Cadmium Telluride) 検出器 (vigo, PVI-3TE-6-1×1-T08BaF2) を用いた。波長感度領域は 2.5~8.0 $\mu\text{m}$  である。本システムはこの検出器の出力を元に、自作のソフトウェアを用いて計測対象の画像を作成できる。なお、システムの縦横方向での空間分解能はどちらも 2.5mm であった。

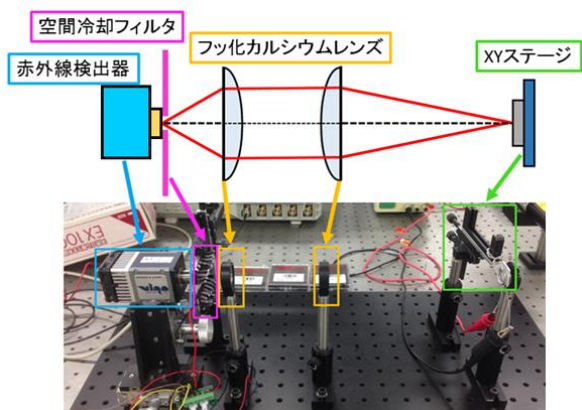


Fig.2 Middle infrared imaging system

### 2.2.2 画像結果

計測結果の例として中赤外スペクトル画像装置による中赤外画像の結果を Fig.3 に示す。これは熱による葉やレンズへの影響を考慮し、ヒーター温度を 50 $^{\circ}\text{C}$ にした時の透過画像である。中赤外画像ではレッドロビンの葉を用い、採取直後と水を与えず 3 週間放置したものとを比較した。3 週間後の画像では、葉周辺がセラミックヒーター部分の強度とほぼ同じになった。つまり、透過率が上がったことを意味する。また、どちらも中心部に近づくほど透過率が下がった。吸収を与える水成分が葉周辺ほど減少し、枯れた状態に近づいたものと思われる。

### 2.3 X線, 可視, 近赤外, 熱赤外, THz 画像装置

中赤外以外の 5 つのスペクトル領域の計測の内容は以下の通りである。

- ・X線: デジタル X 線装置 (アールエフ Naomi; 加速電圧 40kv, 630 $\times$ 630pixels) にて植物 (葉) 構造を取得する。
- ・可視: 蛍光分光光度計 (日立ハイテクノロジー; 200nm-800nm) を波長可変光源とし、デジタルカメラ (ビットラン BJ-40L・USET; CCD, 300-810nm, 772 $\times$ 580pixels) により光合成等に関する可視光生理情報を取得する。
- ・近赤外: 近赤外 LED (1300nm, 1450nm) を光源に葉の反射光をデジタルカメラ (ARTRAY

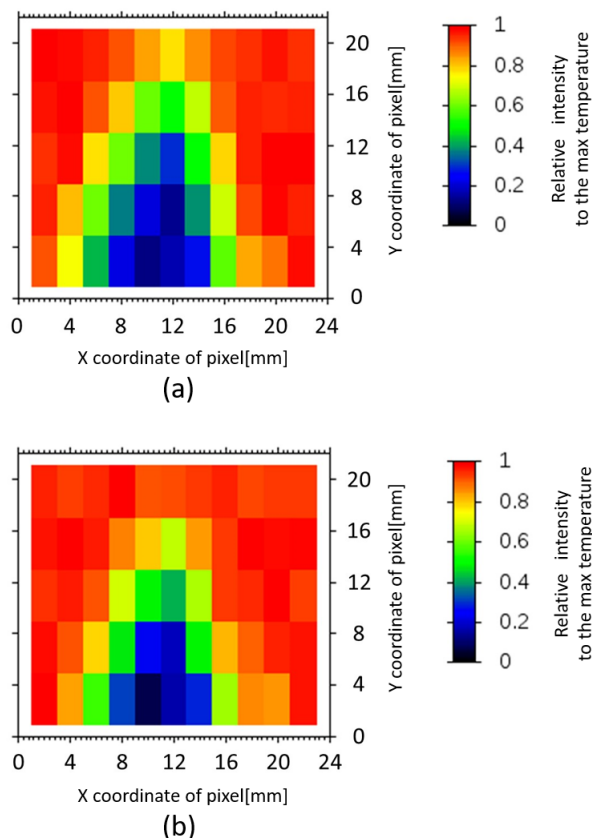


Fig.3 Middle infrared imaging results (a: just after collection, b: three weeks later without water)

ARTCAM-008TNIR InGaAs, 960-1670nm, 320 $\times$ x256 pixels) により葉内水分含有量情報を取得する。

- ・熱赤外画像計測: 熱赤外カメラ (FLIR T250, 240 $\times$ 180 pixels, 7.5-13 $\mu\text{m}$ , -20 to +350 $^{\circ}\text{C}$ ) を用い蒸散作用等の活動情報を取得する。
- ・テラヘルツスペクトル計測: テラヘルツ分光解析システム (共和ファインテック IZNAGY 75 $\mu\text{m}$ -300 $\mu\text{m}$ ) により水分情報を取得する。

### 3. まとめ

中赤外域での植物画像スペクトル計測を中心として、超広帯域スペクトル画像装置の製作と結果を述べた。講演では全スペクトル帯での画像結果を合わせて報告し、本システムの有効性等について議論する。

### 謝辞

本研究の一部は(公財)新技術開発財団第 26 回植物研究助成及び(一財)長野県科学振興会平成 29 年度科学振興会助成により行われている