

ラマン分光法を用いた変圧器異常診断手法の開発

Development of condition evaluation using Raman Spectroscopy for transformer maintenance

染川智弘¹、笠岡 誠²、永野芳智²、藤田雅之^{1,3}、井澤靖和^{1,3}

T. SOMEKAWA¹, M. KASAOKA², Y. NAGANO², M. FUJITA^{1,3}, Y. IZAWA^{1,3}

¹(公財)レーザー技術総合研究所、²かんでんエンジニアリング、³阪大レーザー研

¹Inst. for Laser Tech., ²Kanden Engineering Corporation, ³Inst. of Laser Eng., Osaka Univ.

ABSTRACT

Transformers are important components in any power system and their condition monitoring is essential for ensuring reliable operation of the system. We propose the in-situ transformer health diagnosis without the need for oil sampling by measuring the Raman signals from C_2H_2 and furfural concentrations present in transformer oils. Raman signals in oil at $\sim 1972\text{ cm}^{-1}$ and $\sim 1705\text{ cm}^{-1}$ originating from C_2H_2 and furfural, respectively, were detected. The results show that laser Raman spectroscopy is a useful alternative method to diagnose the transformer faults.

1. はじめに

油入変圧器は電力会社や電力を使う企業等で多く使用されており、電力の安定供給のため機器の状態を適切に診断することが必要となっている。運転中の変圧器内部の異常や劣化により、絶縁油または巻線に巻かれている絶縁紙が分解され、特有のガス成分や絶縁紙の劣化生成物が発生する。これらのガス等は変圧器内の絶縁油に溶解するため、溶存しているガス成分等を分析することにより、変圧器の内部異常や劣化状態を診断する手法が一般的に用いられているが、油からガスを抽出する等の複雑で時間のかかる前処理工程を必要としていた。これまでにレーザー総研では、ラマン分光法を用いて水に溶存している CO_2 ガスのリモートセンシング技術の開発を行ってきたり。本手法を用いれば、油からガス等を抽出することなくレーザーを直接油に照射するだけで変圧器の状態を診断することが期待できる。本発表では、絶縁油の放電由来物質であるアセチレンガス²⁾、絶縁紙の劣化生成物であるフルフラールのラマン信号による変圧器の異常診断手法を紹介する。

2. 油溶存アセチレン・フルフラールのラマン信号

Fig. 1 に実験配置図を示す。油の透過率の高い波長 532 nm のナノ秒のパルスレーザー（パルス幅 10 ns 、繰り返し 10 Hz 、出力 100 mJ ）を集光せずに、試料を封入したガラスのバイアル瓶（ $3\text{ cm}\phi$ ）に照射し、後方 25° の位置からラマン散乱光を測定した。集光光学系には迷光となる 532 nm のレイリー光を除去するために 532 nm のエッジフィルターと、ノッチフィルターを使用している。分光器は焦点距離 30 cm のツェルニターナ型であり、液体窒素冷却の CCD カメラで測定を行った。

Fig.2 に油溶存アセチレンのラマンスペクトルを示す。スペクトルはそれぞれ 3000 回積算信号（露光時間： 90 ms ）の 10 回平均をとり、波長分解能は 0.20 nm である。(a)が油溶存アセチレン濃度 10% のラマンスペクトルであり、点線で囲った領域の拡大図が(b)である。油由来の信号に比べて、アセチレンからのラマン信号は非常に微弱であることがわかる。

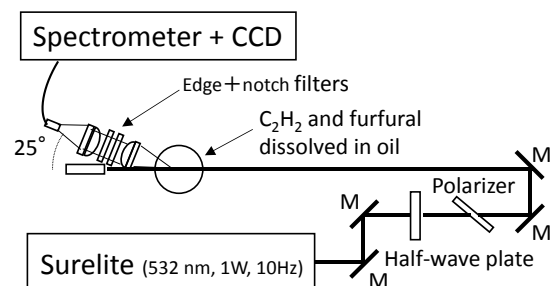


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup.

～1450 cm^{-1} に見られる大きな信号は $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ の変角モード、～1302, 1350 cm^{-1} に見られる2つの信号はC-Hのねじれモードである。また、～1610 cm^{-1} に見られる信号は芳香族系のC=Cの伸縮モード、～2725 cm^{-1} はC-Hの伸縮モードである。

(b)では油溶存アセチレン濃度0, 1.9, 5.7, 10%のラマンスペクトルを示す。～1972 cm^{-1} に見られる信号がアセチレンの ν_2 モードであり、油のラマンスペクトルに干渉されことなく識別が可能であることがわかる。比較として、10%のアセチレンガスのラマンスペクトルを示したが、気体では～1979 cm^{-1} にラマン信号が測定されているのに対して、油に溶存した際には～1972 cm^{-1} と低波数側にシフトしている。また、～2191 cm^{-1} の油由来のラマン信号との強度比を用いて検出限界を評価すると、検出限界は0.37%であった。大規模な放電が起こった際にはアセチレン濃度が1%を超えるために、現システムでは大規模な放電現象の検知が可能である。

Fig. 2(c)に油溶存フルフラールのラマンスペクトルを示す。3000回積算信号(露光時間:90 ms)の5回平均であり、波長分解能は0.23 nmである。フルフラール濃度は104, 251, 415, 900, 1106ppmである。～1707 cm^{-1} にフルフラールのC=Oの伸縮モードが確認でき、油由来のラマン信号と区別して測定できることがわかる。また、～1610 cm^{-1} の油由来のラマン信号との強度比を用いて検出限界を評価すると、検出限界は14.4ppmであった。フルフラールを指標とした絶縁紙の劣化診断は注意レベルで1.5ppm、危険レベルで15ppmである。本手法では危険レベルでのフルフラールの測定は可能ではあるが、より検出感度の向上が必要である。

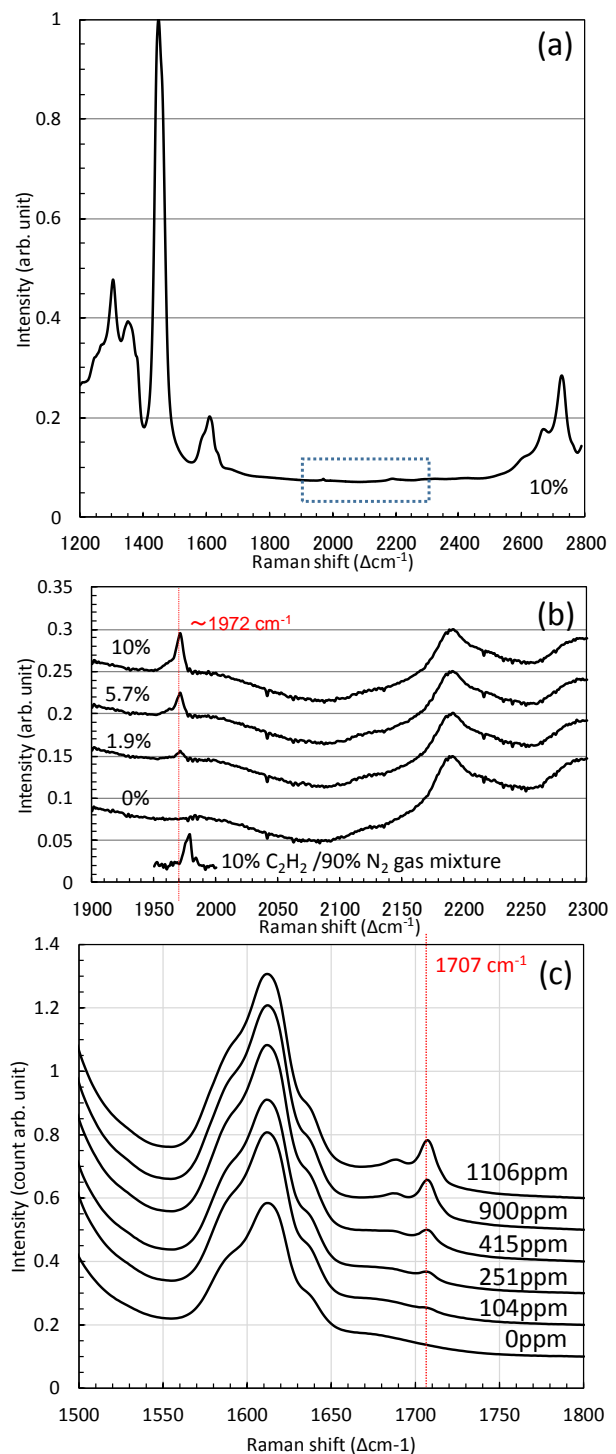


Fig.2 Raman spectra of (a), (b) C_2H_2 gas and (c) furfural dissolved in the insulating oil.

3. まとめ

絶縁油に直接レーザーを照射しラマン光を測定することで、アセチレンガス、フルフラール濃度の直接測定が可能であった。本手法により、変圧器内部の絶縁油を前処理無しで直接測定し変圧器の余寿命を診断できる可能性がある。今後は、実機での異常診断を目指して、更なる高感度化の検討を行う。

参考文献

- 1) T. Somekawa, A. Tani, and M. Fujita: Appl. Phys. Express **4** (2011) 112401.
- 2) T. Somekawa, M. Kasaoka, F. Kawachi, Y. Nagano, M. Fujita, and Y. Izawa: Opt. Lett. **38** (2013) 1086.