



# 電磁超音波探触子を用いた定点監視技術に関する研究

小坂, 大吾

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2012-03-25

(Date of Publication)

2012-10-09

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5487

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005487>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



|          |                          |     |         |
|----------|--------------------------|-----|---------|
| 氏名       | 小坂 大吾                    |     |         |
| 論文<br>題目 | 電磁超音波探触子を用いた定点監視技術に関する研究 |     |         |
| 審査<br>委員 | 区 分                      | 職 名 | 氏 名     |
|          | 主 査                      | 教 授 | 小 島 史 男 |
|          | 副 査                      | 教 授 | 的 場 修   |
|          | 副 査                      | 教 授 | 阪 上 隆 英 |
|          | 副 査                      |     |         |

印

要 旨

本論文は第1章を緒論、第6章を結論として全6章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章は、緒論であり発電プラントの特に配管における減肉管理手法の現状から、新たな減肉管理手法の必要性といった本研究の背景と目的について述べている。

第2章は、従来の振動子と比較して電磁超音波が優位な特徴を持っていることを述べ、提案手法においては電磁超音波探触子の使用が適切であることを考察している。2.1は緒言である。超音波探傷の歴史を簡単に述べ、検証内容を明確にしている。2.2は従来の探触子と本論文で活用する電磁超音波の特徴について述べている。まず従来探触子として圧電素子を例に挙げ、電歪による駆動原理と使用方法を述べている。次に電磁超音波探触子のローレンツ力、磁歪、クーロン力による駆動原理と使用方法を述べている。最後に両者を比較し、電磁超音波探触子は配管表面に直接超音波を発生させるため、探触子と配管の間に媒質が必要なく、高温環境に強い探触子を期待できることを説明している。2.3は超音波を用いた厚さ計測の手法である、パルスエコー法と共振法について説明している。パルスエコー法は測定時間に優れること、共振法は測定時間がかかるとは優れた厚さ測定分解能を得られることを説明し、また電磁超音波探触子では共振法を十分な帯域で使用可能であることを説明している。2.4は結言である。

第3章は、減肉形状が電磁超音波探触子の検出性能に与える影響について定量的な評価を試みている。3.1は緒言である。検査対象の特徴を述べ、検証内容を明確にしている。3.2は減肉形状と管の曲率を同時に考慮すると問題が複雑になることから、それぞれを別々に検討するため、平板に限定して考察を行っている。減肉形状については実際の減肉は3次元の複雑な形状を持ち、減肉のモードによってさらに形状は分かれるので、加工する部分減肉は2次元形状に絞り、代わりに一つの試験体で探傷面に対する様々な角度を模擬できるようにその形状を半楕円としている。長径、短径の比を変えることで、減肉のモードである液滴衝突エロージョンと流れ加速腐食を模擬している。またすべての減肉形状を実験で模擬することは困難であるため、シミュレーションを用いて補完をしている。得られた結果を踏まえ反射面の角度と厚さ測定の可否、減肉形状診断手法の提案を行っている。3.3では3.2と同様の実験を管形状の試験体で行い、同様な測定が配管で可能であることを検証している。さらに流れ加速腐食のような腐食範囲が広くマクロ的にはなだらかな腐食面を持つ減肉配管試験体を用意し、配管厚さの絶対値測定が可能であることを検証している。3.4は結言である。

第4章は、第3章で得られた知見をもとに共振法を用いて極めてわずかな厚さの差異を評価可能であることを検証している。4.1は緒言である。配管の健全性を保つために、定期的な検査によって減肉率を測定し、次の定期検査までに配管厚さが基準を下回らないように管理していることから、減肉率を算出するには十分な厚さ測定分解能と再現性が検査手法に求められることを述べている。4.2は実機適用を考慮した、厚さ測定分解能を確保可能な測定方法について検討を行っている。より精密な定量評価を目的に2章で説明した共振法を用い、この手法が従来の超音波法と同程度の分解能を持っていることを検証している。4.3は流れ加速腐食の成長を想定した模擬試験体を用いて、オリフィス下流減肉の進展測定における提案手法を検証している。4.4は流れ加速腐食の減肉面に生じる鱗片模様について考察している。管内部に凹凸を加工することが困難であるため、平板にボールエンドミルを用いて作成した試験体を用い、電磁超音波探触子のコイル形状と鱗片形状について考察している。4.5は結言である。

|    |       |
|----|-------|
| 氏名 | 小坂 大吾 |
|----|-------|

第5章は、第4章で得られた知見をもとに、実機適用時における測定上の問題点を明らかにし、その解決手法を提案するとともに、実機減肉配管へ適用している。5.1は緒言である。実機適用時に問題となる点を挙げている。5.2は提案手法を実機に適用するための短時間測定法を提案している。コイルの電気的特性を用い、1回の励磁で一定の帯域の情報を得る手法である。同時に、本手法で必要な電磁超音波探触子と配管を含めた測定系の電気的特性を、新たな測定装置を用意することなく測定する手法を提案している。さらにパルスエコー法と同程度の測定時間で、共振周波数を得ることができるとする手法を提案している。結果、本手法が厚さ測定分解能を低下させずに現実的な測定時間で配管の厚さ測定を行える手法であることを検証している。5.3は模擬プラントで製作した流れ加速腐食試験体と実機プラントの供用配管に提案手法を適用し、その結果を考察している。提案手法で減肉範囲を特定し、測定結果が従来探触子と同等であることを検証している。5.4は実機適用における測定装置を提案している。試作したマルチプレクサを用いることで、複数の電磁超音波探触子を順次駆動することができ、電磁超音波探触子の常時設置による配管減肉の遠隔監視の可能性を検証している。5.5は結言である。

第6章は、結論であり本論文内容を総括している。

本研究で得られた主な結果と成果を示す。本研究は、化学プラントや発電プラントの配管系統を対象に開発された電磁センサを配置し、遠隔的かつ定点で連続的に監視する計測システムに関する研究を行ったものである。電磁超音波探触子を探傷器に用いる試みは1970年代に始まるが、今日に至るまで実用化に至っていない。その理由として、超音波発生機構が複雑で、信号強度が低いといった検査性能に問題を有していた点が考えられる。また優れた超音波探傷器が開発され、実用に拠ってきた歴史がある。しかしながら、社会の発展とともに、プラントの高経年化が進行し、またかつ低炭素社会の実現が求められる最近の社会状況から、いまあるプラントを監視しながら長期に運用することが求められている。そのため検査を含めたプラントの状態監視技術が21世紀になりわかに注目されるようになってきた。一方、熟練した検査技術者の不足が深刻な状況になっており、プラントを遠隔的に検査できる技術の必要性が増大してきた。本研究ではそのような観点から、配管の寸法形状を遠隔的にかつ自動的に計測できるシステムの構築をめざしたものであり、3つの主要な成果が認められる。

その第1は配管減肉の形状に関する超音波発生機構と配管減肉形状の関係を明確にし、計測方法の最適化を目指した点である。特に共鳴法による計測法の開発においては、現在の超音波厚み計測の寸法精度と同等もしくはそれ以上の精度がえられることを示したことはおきな成果である。

第2の成果は、配管における流動加速腐食(FAC)や液滴衝撃(LDI)など典型的な減肉事象を考慮した配管の減肉試験体を設計製作し、その減肉進展速度に応じた寸法計測が可能であることを確かめたことは、提案する計測法の今後の標準化に対して大きな指針を与えた点である。特に流動加速による腐食現象は1年間に1ミリ以下であるが、開発されたセンサにおいては数年間の継続監視が可能であることが示されている。

これらの成果に加えて、第3の成果は、開発した計測法の実機適用性を実際の火力プラントおよび実験施設における減肉加速試験配管を通じて確かめたことである。

これら一連の研究成果の公表過程において、2つの講演論文賞、また1つの学術論文賞を受賞しており、ここで行われた研究成果が社会的にも注目されていることがわかる。

以上本研究においては、電磁超音波探触子を使ってプラント運転中の配管減肉に関する遠隔的な継続定点監視への応用をめざしたものであり、最近注目されているプラント状態監視技術へ直接適用可能な実用的研究として価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の小坂大吾は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。

## 論文内容の要旨

氏 名 小坂 大吾

専 攻 情報知能学

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

### 電磁超音波探触子を用いた定点監視技術に関する研究

指導教員 小島 史男

本論文は第 1 章を結論、第 6 章を結論として全 6 章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第 1 章は、結論であり発電プラントの特に配管における減肉管理手法の現状から、新たな減肉管理手法の必要性といった本研究の背景と目的について述べる。

第 2 章は、従来の振動子と比較して電磁超音波が優位な特徴を持っていることを述べ、提案手法においては電磁超音波探触子の使用が適切であることを考察する。2.1 は緒言である。超音波探傷の歴史を簡単に述べ、検証内容を明確にする。2.2 は従来の探触子と本論文で活用する電磁超音波の特徴について述べる。まず従来探触子として圧電素子を例に挙げ、電歪による駆動原理と使用方法を述べる。次に電磁超音波探触子のローレンツ力、磁歪、クーロン力による駆動原理と使用方法を述べる。最後に両者を比較し、電磁超音波探触子は配管表面に直接超音波を発生させるため、探触子と配管の間に媒質が必要なく、高温環境に強い探触子を期待できることを説明する。2.3 は超音波を用いた厚さ計測の手法である、パルスエコー法と共振法について説明する。パルスエコー法は測定時間に優れること、共振法は測定時間がかかるが優れた厚さ測定分解能を得られることを説明し、また電磁超音波探触子では共振法を十分な帯域で使用可能であることを説明する。2.4 は結言である。

第 3 章は、減肉形状が電磁超音波探触子の検出性能に与える影響について定量的な評価を試みる。3.1 は緒言である。検査対象の特徴を述べ、検証内容を明確にする。3.2 は減肉形状と管の曲率を同時に考慮すると問題が複雑になることから、それぞれを別々に検討するため、平板に限定して考察を行う。減肉形状については実際の減肉は 3 次元の複雑な形状を持ち、減肉のモードによってさらに形状は分かれるので、加工する部分減肉は 2 次元形状に絞り、代わりに一つの試験体で探傷面に対する様々な角度を模擬できるようにその形状を半楕円とする。長径、短径の比を変えることで、減肉のモードである液滴衝突エロージョンと流れ加速腐食を模擬する。またすべての減肉形状を実験で模擬することは困難なので、シミュレーションを用いて補完をする。得られた結果を踏まえ反射面の角度と厚さ測定の可否、減肉形状診断手法の提案を行う。3.3 では 3.2 と同様の実験を管形状の試験体で行い、同様な測定が配管で可能であることを検証する。さらに流れ加速腐食のような腐食範囲が広くマクロ的にはなだらかな腐食面を持つ減肉配管試験体を用意し、配管厚さの絶対値測定が可能であることを検証する。3.4 は結言である。

第 4 章は、第 3 章で得られた知見をもとに共振法を用いて極めてわずかな厚さの差異を評価可能であることを検証する。4.1 は緒言である。配管の健全性を保つために、定期的な検査によって減肉率を測定し、次の定期検査までに配管厚さが基準を下回らないように管理していることから、減肉率を算出するには十分な厚さ測定分解能と再現性が検査手法に求められることを述べる。4.2 は実機適用を考慮した、厚さ測定分解能を確保可能な測定方法について検討を行う。より精密な定量評価を目的に 2 章で説明した共振法を用い、この

手法が従来の超音波法と同程度の分解能を持っていることを検証する。4.3は流れ加速腐食の成長を想定した模擬試験体を用いて、オリフィス下流減肉の進展測定における提案手法を検証する。4.4は流れ加速腐食の減肉面に生じる鱗片模様について考察する。管内部に凹凸を加工することが困難であるため、平板にボールエンドミルを用いて作成した試験体を用い、電磁超音波探触子のコイル形状と鱗片形状について考察する。4.5は結言である。

第5章は、第4章で得られた知見をもとに、実機適用時における測定上の問題点を明らかにし、その解決手法を提案するとともに、実機減肉配管へ適用する。5.1は結言である。実機適用時に問題となる点を挙げる。5.2は提案手法を実機に適用するための短時間測定法を提案する。コイルの電気的特性を用い、1回の励磁で一定の帯域の情報を得る手法である。同時に、本手法に必要な電磁超音波探触子と配管を含めた測定系の電気的特性を、新たな測定装置を用意することなく測定する手法を提案する。さらにパルスエコー法と同程度の測定時間で、共振周波数を得ることができる手法を提案する。結果、本手法が厚さ測定分解能を低下させずに現実的な測定時間で配管の厚さ測定を行える手法であることを検証する。5.3は模擬プラントで製作した流れ加速腐食試験体と実機プラントの供用配管に提案手法を適用し、その結果を考察する。提案手法で減肉範囲を特定し、測定結果が従来探触子と同等であることを検証する。5.4は実機適用における測定装置を提案する。試作したマルチプレクサを用いることで、複数の電磁超音波探触子を順次駆動することができ、電磁超音波探触子の常時設置による配管減肉の遠隔監視の可能性を検証する。5.5は結言である。

第6章は、結論であり本論文内容を総括する。

以 上