

リフトオフに依存しない PEC 減肉評価方法の検討

三浦かさね^{*1} 前角 貴弘^{*2} 大森 征一^{*1}
Miura Kasane *Maezumi Takahiro* *Oomori Seiichi*
 水上 孝一^{*3} 藤原 貢^{*4} 田中 孝治^{*5}
Mizukami Koichi *Fujiwara Mitsugu* *Tanaka Koji*

近年、プラント配管等の減肉検査方法として、パルス渦電流探傷(PEC)が注目されている。現在よく用いられる超音波検査法では、保温材等の除去や接触媒質の使用が必要であるが、PECでは非接触による探傷が可能ため、このような作業が不要である。しかし、PECでは、リフトオフによる測定値の変化が一つの課題とされている。当社では、これまでに愛媛大学との共同研究により開発したプローブで、模擬試験片を用いたPEC減肉測定試験を報告している⁽¹⁾。本稿では、それらの試験結果を基に、リフトオフに依存しないPEC減肉評価方法を検討した。

キーワード：パルス渦電流探傷、PEC、減肉検査、リフトオフ、減肉評価方法

1. はじめに

発電設備・化学プラント等における配管の減肉現象は、運用・管理における重要な一つの問題である。そのため、配管外面における保温材の下の腐食や⁽²⁾、配管内面における流れ加速腐食⁽³⁾等に起因する減肉や破損の防止には、定期的な検査が必要である。一般に配管減肉の検査には、超音波検査法やX線検査法が用いられているが、超音波検査法には外装板金と保温材を外す工程や、接触媒質の塗布や除去の必要性から、検査時間およびコストに課題がある⁽⁴⁾。また、X線検査法は、放射線管理上の難しさから適用範囲に限られる。これらに対して、PECは非接触検査が可能かつ放射線管理が不要なため、今後の有力な配管減肉検査手法

として注目されている。

しかし一方で、PECによる減肉測定では、リフトオフによる測定値の変化が課題とされている。そのため、これまでに、リフトオフの影響を受けない配管肉厚との相関パラメータ⁽⁴⁾が検討・報告されている。

本稿では、PECを用いた減肉測定における、リフトオフ補正を必要としない評価方法の検討結果を紹介する。

2. PECによる減肉検出原理

PECでは、励磁コイルに低周波数のパルス電流を流すと、減衰が小さい渦電流が生じ、表面よりも深い部分まで浸透する。図1に示すように、渦電流の浸透可能な範囲に裏面がある場合は、裏面

*1：検査事業部 技術部 NDEグループ

*2：元検査事業部 技術部 NDEグループ (現株式会社IHI 技術開発本部 技術基盤センター 生産プロセスグループ)

*3：国立大学法人愛媛大学 理工学研究科 生産環境工学専攻 機械工学講座 講師 博士(工学)

*4：検査事業部 技師長

*5：検査事業部 技術部 部長

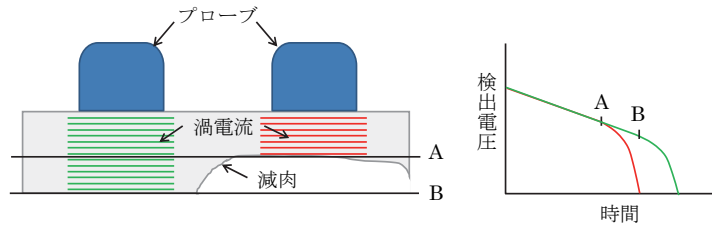


図1 PECを用いた減肉検出概念図

に達した渦電流は急激に減衰し、その減衰時間は図1のBに示すように、板厚が大きいほど長くなる。減肉部の残厚は、渦電流の減衰過程を検出コイルに生じる電圧の減衰時間として観測することにより、測定することができる。

3. 試験方法

試験方法は、3.1節～3.4節に示す試験条件を設定し、試験片の模擬減肉部の板厚 $t=2\text{mm}$ (t_2)、 3mm (t_3)、 4mm (t_4)、 5mm (t_5) における検出電圧の経時変化を求めた。

3.1 使用機器

使用した機器を図2に示す。また、機器の構成および試験手順を以下に示す。

矩形パルス波はファンクションジェネレータで生成し、パワーアンプで増幅してプローブの励磁コイルへ出力した。励磁コイルによる電磁誘導で

試験片表面に渦電流が生じると、周囲の磁場変化により、検出コイルには検出電圧が生じる。検出電圧はプリアンプで増幅し、ローパスフィルタとUSBオシロスコープを通してPCに表示した。

3.2 試験片

本試験では、図3に示すSS400階段状減肉模擬試験片の模擬減肉部の板厚 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 について測定した。試験片寸法は、縦 300mm × 横 600mm 、健全部の板厚は 6mm である。各模擬減肉部を模擬した寸法は、縦 150mm × 横 150mm である。

3.3 測定条件

本試験は、以下の条件で実施した。

- (1) 励磁周波数：10Hz
- (2) 励磁電圧： $\pm 530\text{mV}$ × 20倍増幅
- (3) 検出電圧増幅率：50倍
- (4) ローパスフィルタ：100kHz



図2 使用機器

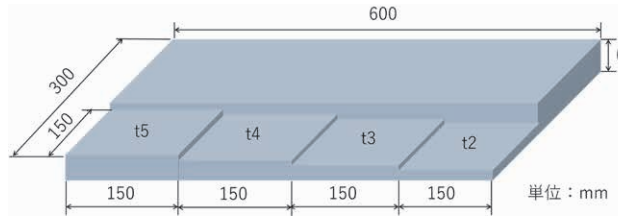


図3 試験体

(5) 測定範囲：20mV

(6) 測定開始：矩形パルス波形の立下りから $100\mu\text{s}$ 後 (図4)

リフトオフの再現にはアクリル板を使用し、各板厚におけるリフトオフ 0mm (Lif.0)、5mm (Lif.5)、10mm (Lif.10) のデータを取得した。

3.4 信号処理

信号処理には、移動平均 (一定時間で区切られ

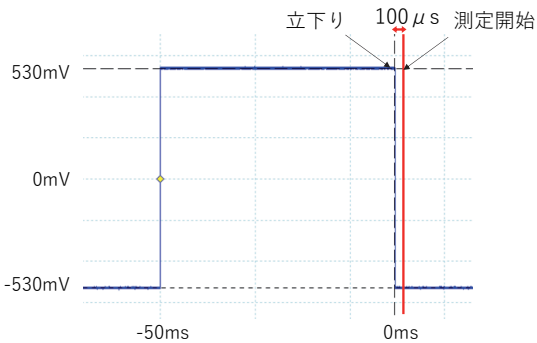


図4 測定開始のタイミング

た各区間の平均値を、各区間の最終時間にプロットしたものと加算平均 (20回測定の平均値をプロットしたもの) を用いた。

4. リフトオフに依存しないPEC減肉評価方法の検討

図5に板厚 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 における検出電圧の減衰を示す。検出電圧 20mV 以下における減衰する時間は、リフトオフにより多少異なるが、全体的に板厚が小さいほど早い傾向が見られた。減衰する時間への影響は、図5に示すように、リフトオフよりも板厚による違いの方が大きいことがわかる。しかし、板厚ごとにリフトオフによる減衰の差が見られるため、検出電圧のしきい値による次の3つのパターンで整理した。

- (1) しきい値到達時間
- (2) しきい値到達時間差
- (3) 検出電圧の積分値

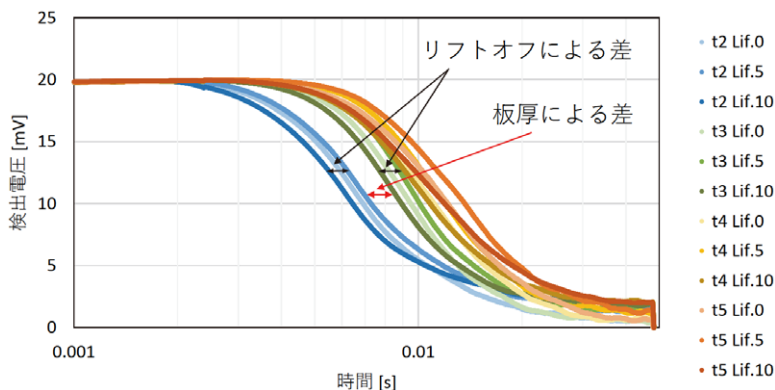


図5 検出電圧の減衰

4.1 しきい値到達時間による評価方法

しきい値到達時間による評価は、いずれかのしきい値により、各板厚でリフトオフに関係なく識

別可能と予想した。検出電圧のしきい値が 5mV、10mV、19mV の場合のしきい値到達時間とリフトオフの関係を図 6～図 8 に示す。図 6 より、しき

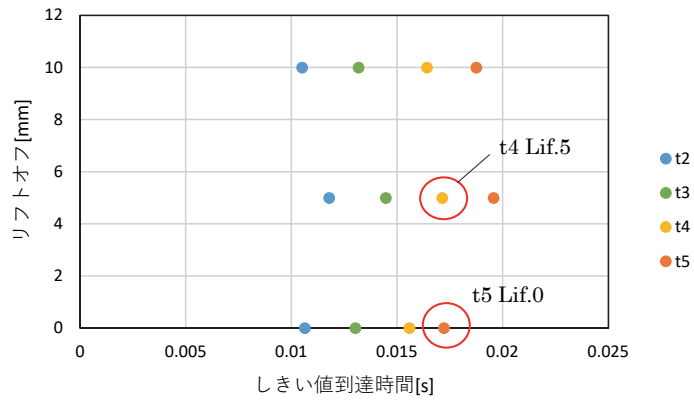


図 6 しきい値到達時間とリフトオフの関係 (5mV)

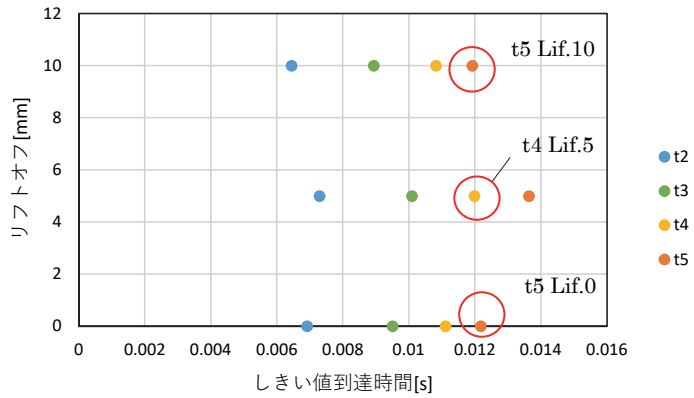


図 7 しきい値到達時間とリフトオフの関係 (10mV)

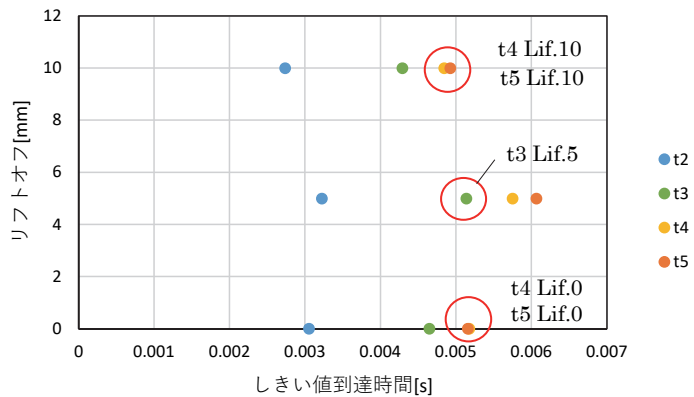


図 8 しきい値到達時間とリフトオフの関係 (19mV)

い値 5mV の t4 Lif.5 と t5 Lif.0 では、しきい値到達時間にほとんど差が見られなかった。図 7 より、しきい値 10mV の t4 Lif.5 と t5 Lif.0、t5 Lif.10 では、しきい値到達時間にほとんど差が見られなかった。図 8 より、しきい値 19mV の t3 Lif.5 と t4 Lif.0、t4 Lif.10、t5 Lif.0、t5 Lif.10 は、しきい値到達時間にほとんど差が見られなかった。

リフトオフによるしきい値到達時間のばらつきは、異なる板厚で重複し、明確に分離できなかった。

4.2 しきい値到達時間差による評価方法

図 9 に、しきい値到達時間差による評価方法を示す。検出電圧に 2 つのしきい値を設け、しきい値 1 を 5mV、しきい値 2 を 19mV とし、検出電圧

の変化をしきい値到達時間の差分で評価した。

図 10 に、板厚 t2、t3、t4、t5 におけるしきい値到達時間差とリフトオフの関係を示す。t2 Lif.5 と t3 Lif.0、t3 Lif.10 は、しきい値到達時間差にほとんど差がなく、リフトオフによるしきい値到達時間差のばらつきは、異なる板厚で重複し、明確に分離できなかった。

4.3 検出電圧の積分値による評価方法

図 11 に示す検出電圧の減衰変化の積分値による評価方法では、検出電圧のしきい値 1 を 5mV、しきい値 2 を 19mV とし、検出電圧の減衰過程の変化を時間の差分ではなく面積の差分として評価した。図 12 に、板厚 t2、t3、t4、t5 における積分値

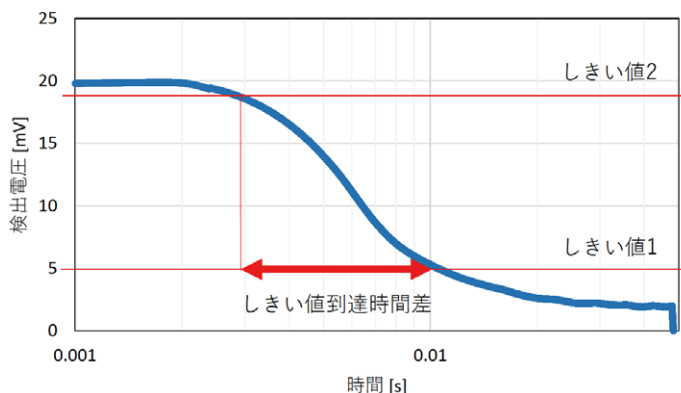


図 9 しきい値到達時間差

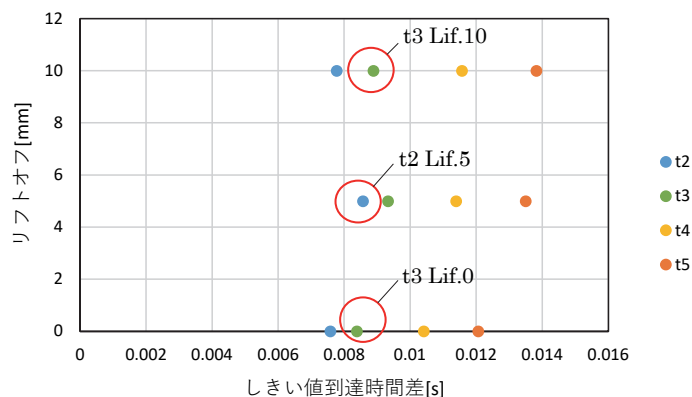


図 10 しきい値到達時間差とリフトオフの関係 (しきい値 1 : 5mV、しきい値 2 : 19mV)

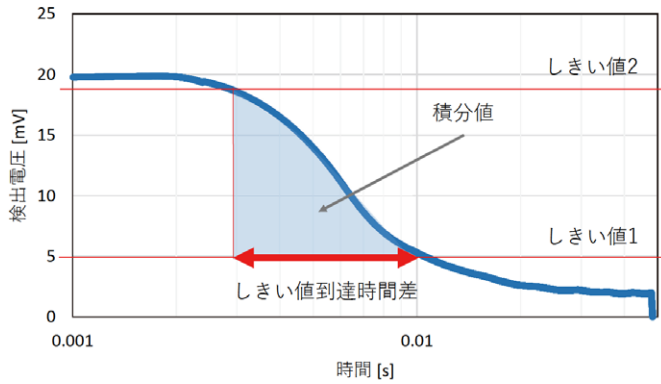


図 11 積分値

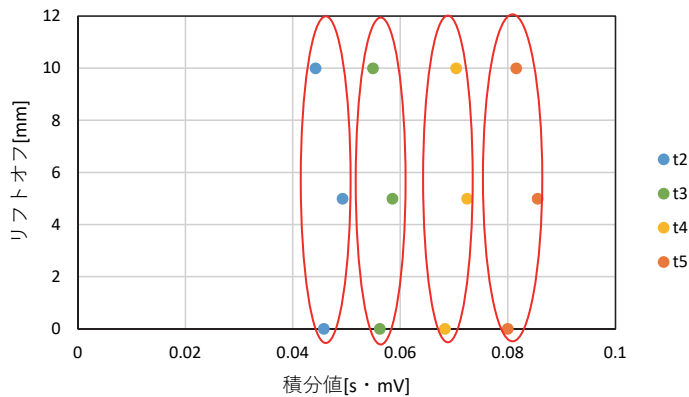


図 12 積分値とリフトオフの関係 (しきい値 1 : 5mV、しきい値 2 : 19mV)

とリフトオフの関係を示す。リフトオフによる積分値のばらつきは、異なる板厚で重複せず明確に分離できた。また、図 13 に各リフトオフにおける

積分値と板厚の関係を示す。リフトオフを変化させても、積分値と板厚に比例関係が成り立ち、積分値は減肉評価のパラメータとなると考えられる。

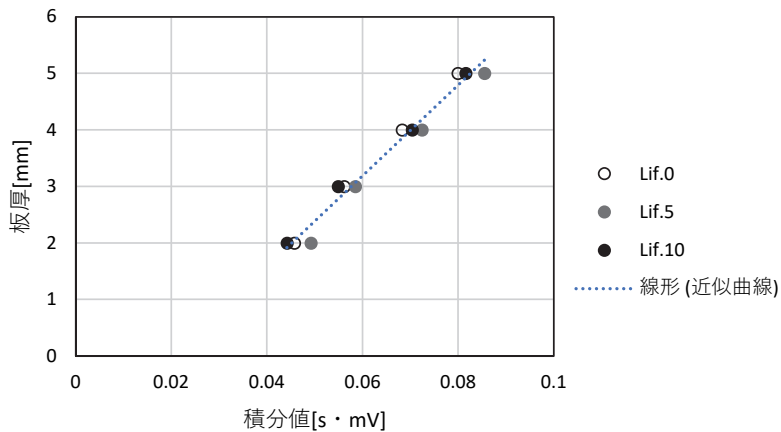


図 13 積分値と板厚の関係 (しきい値 1 : 5mV、しきい値 2 : 19mV)

5. まとめ

リフトオフに依存しない PEC 減肉評価方法として3つの方法を検討した結果、リフトオフによるばらつきが最も小さい評価方法は、積分値による評価方法であった。本検討では、各板厚における積分値を求めることにより、リフトオフに依存しない減肉評価が可能であることが示唆された。

今後は、板厚の適用範囲およびリフトオフの限界距離について、具体的に調べて積分値による評価方法の適用対象を広げる。なお、本検討内容については、現在特許出願中である。

参考文献

- (1) 前角貴弘、北園夏未、大森真実、水上孝一、佐々木孝明：パルス渦流探傷試験(PEC法)を用いた減肉検査の基礎検討、IIC REVIEW、No.64、2020/04、pp.8-12
- (2) 川野浩二：配管保温材下腐食(CUI)診断技術と評価、検査技術、Vol.13、No.3、2008、pp.25-30
- (3) 椿崎仙市、高田政治ほか：火力プラント水処理における脱ヒドラジンへの取組み、三菱重工技報、Vol.46、No.2、2009
- (4) 程衛英、古村一朗：パルス渦電流試験法による減厚評価のシミュレーション解析、溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー、Vol.7、2011、pp.18-24

検査事業部
技術部
NDE グループ
三浦 かさね
TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

検査事業部
技術部
NDE グループ
大森 征一
TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

検査事業部
技師長
藤原 貢
TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

元検査事業部 技術部
NDE グループ (現株式会社 IHI
技術開発本部 技術基盤センター
生産プロセスグループ)
前角 貴弘
TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

国立大学法人愛媛大学
理工学研究科 生産環境工学専攻
機械工学講座 講師 博士(工学)
水上 孝一
TEL. 089-927-9729
FAX. 089-927-9729

検査事業部
技術部
部長
田中 孝治
TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547