－寄稿－　パルス渦電流法を用いた腐食検査装置（Lyft）の紹介

1. はじめに

国内のプラントは高経年化に伴い劣化損傷が進んでおり，特に保温材下の外面腐食（CUI：Corrosion Under Insulation）が問題となっている．CUIの検査には，目視検査や放射線検査等が一般的に行われている．しかしながら，目視検査は保温材を解体する必要があり，多大なコストと時間を要する．また放射線検査は，現場でも使用可能なリアルタイムラジオグラフィが開発され，保温材を解体せずに検査可能であるが，放射線を使用することによる制限があり，部分的な検査とならざるを得ないのが現状である．

膨大な配管や装置を対象とする場合，保温材を解体することなく，高速で腐食部を特定できるスクリーニング検査が望まれている．このようなニーズに対応するために，当社では従来からパルス渦電流法によるスクリーニング検査を実施しており，高速測定が可能なLyft（Eddyfi社製）[1]について，各種機器への適用事例とともに紹介する．なお，本文中の「Lyft」は測定方法を指す言葉としても使用する．

2. 装置概要及び原理

Lyftの測定装置を図1に示す．図1のようにLyftは測定器本体と各種プローブで構成される．プローブはパルス放射，遮断，受信を行う．測定原理を図2に示す．第一段階の放射ではプローブにパルス電流を流し，安定的な磁場を発生させ，試験体に作用させる．第二段階の遮断により，プローブに流すパルス電流を遮断することで，試験体に強い渦電流が誘起される．第三段階の受信で試験体厚さ方向に浸透し，拡散，減衰していく渦電流の変化に伴う磁場の減衰率を測定する．渦電流の減衰速度は試験体の磁気特性と厚さ

図1　測定装置

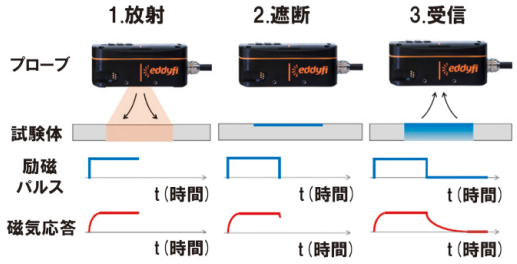

図2　測定原理

によって変化し，その減衰の傾きから試験体の厚さ測定を行う．

3. 測定

3.1　測定対象物と測定範囲

Lyftの測定対象物は炭素鋼（磁性材料）である．したがって，測定対象物の適用温度は，およそ−150℃～500℃の磁性を持つ範囲であるが，プローブと接する外装材の表面温度は−150～120℃までが適用温度となる．測定には，「測定対象物の厚さ」，「リフトオフ（保温材の厚さ）」および「外装材の種類と厚さ」の情報が必要となる．これらの情報から使用するプローブの種類を選択し，測定範囲が決定する．図3にLyftの測定範囲を示す．測定範囲は，プローブの種類およびリフトオフによって決まるFootprintを基本とする．Footprintは，信号強度が50%となる範囲であり，さらにFootprintの1.8倍した範囲をAveraging Areaとする．Lyftの測定値は，このAveraging Areaの平均肉厚として表示される．実際には健全部に対する相対値として残肉厚が測定され，Footprintごとに測定を行う．

3.2　校正と評価

Lyftの測定結果は，校正点における減衰の傾きを100%として，測定点での減衰の傾きと比較することにより，残

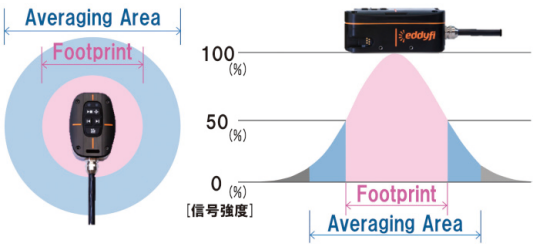

図3　測定範囲

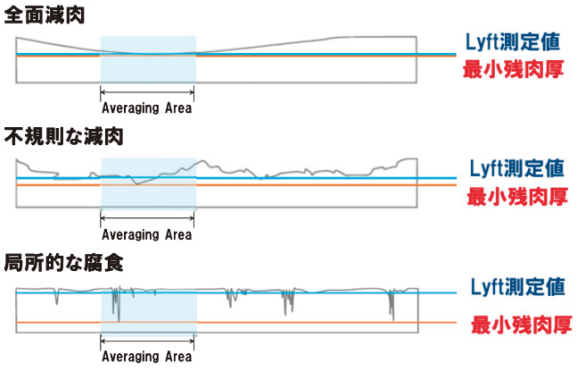

図4　残肉厚の評価

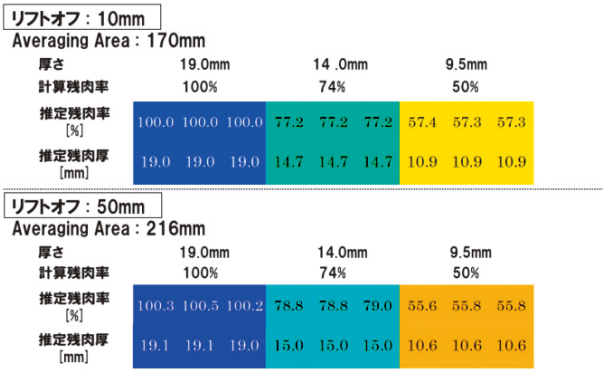

図5　測定結果（平板）

肉厚を測定している．したがって，校正点と測定点の磁気特性が異なる場合，正確な測定結果を得ることが出来ない．校正点と測定点の磁気特性を同じにするために，測定対象物の健全部と推定される箇所にて校正を行う．また測定値が平均肉厚として表示されることから，Averaging Area以上の面積を持った全面減肉については，Lyftの測定値と最小残肉厚は良好な関係にあるが，孔食などの局部減肉については誤差が大きくなる．残肉厚の評価を**図4**に示す．

4. Lyftの特徴

Lyftの特徴について以下に示す．

長所

- 保温材，外装材上から測定可能
- 表面処理不要
- 稼働中検査可能
- 全面減肉，エロージョンを検出
- 高速でのスクリーニング検査
- 亜鉛めっき外装鋼板上から測定可能

短所

- 減肉内外面の区別不可
- 局部的腐食の検出困難
- Averaging Area未満の減肉は過小評価

5. 適用事例

5.1　平板試験片の厚さ測定

外装材の材質として，SUS，アルミニウム，亜鉛めっき外装鋼板の三種類が用いられている．SUSとアルミニウムは非磁性材料であるが，亜鉛めっき外装鋼板は磁性材料であるため，プローブから放射される磁場を拡散するなど，Lyftの測定に影響を与えることが分かっている[2)]．また日本国内においては，一般的に亜鉛めっき外装鋼板が多く使用されている．

平板試験片に亜鉛めっき外装鋼板を介して測定した結果を**図5**に示す．測定条件は以下の通りである．

測定条件

材質　　：SS400
寸法　　：350×350mm　t19.0mm，t14.0mm，t9.5mm
リフトオフ：10mmおよび50mm
外装材　　：亜鉛めっき外装鋼板

t19.0mmの試験片における減衰の傾きを100%として校正を行い，t14.0mmおよびt9.5mmの試験片を三回ずつ測定した．測定結果から，実測による計算残肉率とLyftの測定値である推定残肉率は良好な関係を示し，リフトオフが10mmから50mmに変化しても大きな測定値差はなかった．したがって，亜鉛めっき外装鋼板による磁場の拡散等の影響があっても，Averaging Areaの範囲に全面減肉がある場合，問題なく測定可能である．

5.2　4B保温配管

4B保温配管にLyftを適用した結果の一部を**図6**に示す．測定条件は以下の通りである．

測定条件

材質　　：SGP
設計厚さ　：4.5mm
リフトオフ：60mm
外装材　　：亜鉛めっき外装鋼板

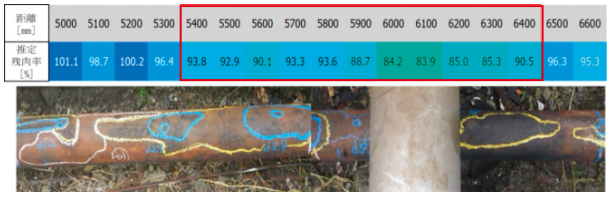

図6　測定結果（4B保温配管）

表1　減肉検出箇所の検証結果

Lyftで減肉と判断される範囲［mm］	目視検査結果［mm］		
	腐食範囲w（円周方向）	腐食深さd※	最大腐食深さdmax
700～1100（Min値91.3%）	120	d≧1.0（残肉率78%）	2.2（φ10, 残肉率51%）
1500～1600（Min値93.1%）	120	d≧1.0（残肉率78%）	1.8（φ10, 残肉率60%）
5400～6400（Min値83.9%）	80～100	d≧1.0～2.0（残肉率56～78%）	2.2（φ10, 残肉率51%）
			2.8（ℓ20×W10, 残肉率38%）
7200～7500（Min値91.9%）	100	d≧1.0～2.0（残肉率56～78%）	開口（φ3）
8000～8700（Min値86.7%）	100～160	d≧1.0～2.0（残肉率56～78%）	開口（φ3）
			2.9（φ10, 残肉率36%）

※腐食深さdは全体的な腐食の深さを示す．また，残肉率は設計厚さ4.5mmより算出した．

この配管は外装材の隙間から雨水が侵入し，保温材と接触している配管上部に腐食が発生する傾向にあることから，配管上部のみを測定した．今回の測定条件では100m/日程度の測定速度であった．**図6**の赤線に囲まれた範囲が，Lyftの測定結果から減肉と判断される箇所である．

また**図6**に示すように，外装材および保温材を解体し，目視検査を実施した．Lyftの測定結果と目視検査結果による検証結果を**表1**に示す．SGP 4B保温配管にLyftを適用した場合，腐食範囲が100mm以上で，全体的に腐食深さd1.0 mm以上（残肉率78%以下）の腐食減肉より検出可能であることが確認された．但し，Lyft測定値はAveraging Areaの平均肉厚として計測されるため，目視検査結果と比較して，特に局所的に深い減肉に対して過小評価の傾向であった．

5.3　タンク底板（内面側）

タンク底板の一部を内面側から測定した結果を**図7**に示す．測定条件は以下の通りである．

測定条件

材質　　：SS400
設計厚さ　：12mm
リフトオフ：3mm（FRPコーティング）
測定範囲　：W300×L3400mm

タンク内面全面にFRPのコーティングがされているため，超音波による厚さ測定が不可能である．しかしLyftでは，コーティング除去などの前処理を必要とせず，測定が可能である．この測定は，タンクノズルより接続された配管が漏洩しており，その近傍にあたる底板裏面の腐食が懸念されるため，内面側からLyftによる測定を実施した．測定結果は，**図7**に示すように減肉程度に応じたカラーマッピングによって表示され，推定最小残肉厚は3.5mm（減肉率71%）であり，Lyftによって減肉範囲を特定することができた．

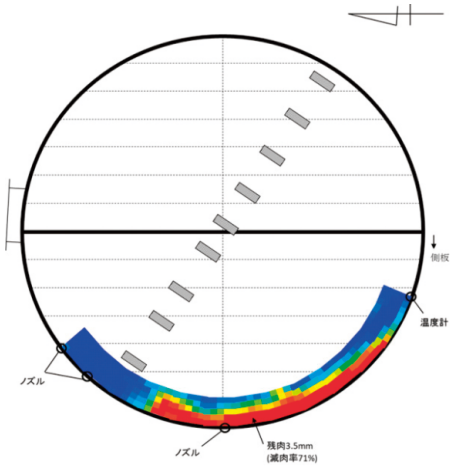

図7　測定結果（タンク底板）

FRPコーティング上からの測定でリフトオフも小さいことから，エンコーダーによる連続測定が可能であり，準備等含めて2時間程度でスピーディーに測定を完了することができた．

5.4　タンク底板（外面側）

稼働中のタンク底板について，外面からの厚さ測定に適用した．Lyftタンクフロアプローブを**図8**に，測定の様子を**図9**および**図10**に示す．

図8　Lyftタンクフロアプローブ

図9　タンク底板の測定風景

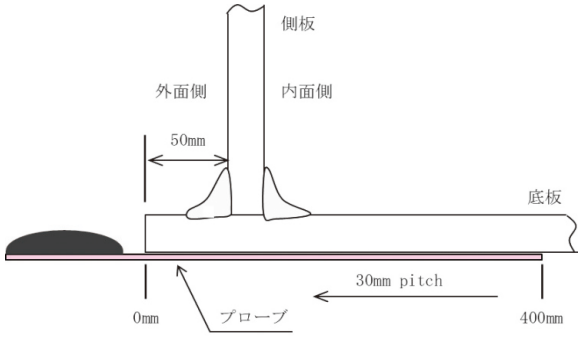

図10　タンク底板の測定

図9のようにLyftタンクフロアプローブを基礎と底板の隙間部に差し込み，底板最外周の張り出し部から400mmまでの範囲について，30mmピッチで測定を実施した．同一タンクの計四箇所で測定した結果を表2に示す．実測残肉率は，タンク開放時に内面側から超音波による厚さ測定を実施し，測定範囲の平均厚さをパーセントに換算した数値である．表2より，Lyftの結果は超音波による結果と良い一致を示しており，タンクフロアプローブの適用により，底板の減肉傾向を十分に把握できることが確認された．底板×側板溶接部近傍については，溶接による磁気特性の変化および端部による影響を受けるため，一箇所だけの結果では正しい評価が困難となる．したがって，例えば張り出し部端面から40mmの箇所について，測定箇所①では残肉率83.1%の結果に対して，測定箇所②では残肉率72.6%であり，10%程度の差があることから，断面形状の同一部分を比較することによって，底板×側板溶接部近傍においても，底板部の減肉を推定することが可能である．

稼働中タンクのアニュラ板廻りの減肉状況を外面側から測定することができ，測定結果から開放検査の要否判断が可能となるため，開放時期が定められていないタンク等の開放要否の判断につながることを期待している．

表2　測定結果（タンク底板アニュラ部）

張出部端部からの距離 (mm)	測定箇所①		測定箇所②		測定箇所③		測定箇所④	
	Lyft 残肉率	実測残肉率	Lyft 残肉率	実測残肉率	Lyft 残肉率	実測残肉率	Lyft 残肉率	実測残肉率
400.0	102.4		89.2		92.1		100.0	
370.0	102.8		89.1		93.4		99.4	
340.0	100.2		87.3		93.3		98.2	
310.0	100.8		88.1		93.4		94.8	
280.0	101.2		88.3		91.7		90.5	
250.0	100.5	100	87.6	90.3	89.2	80.0	93.0	83.7
220.0	99.4		86.6		87.9		95.1	
190.0	100.7		85.4		87.5		91.7	
160.0	102.1		85.0		82.3		92.6	
130.0	102.1		85.8		89.2		85.9	
100.0	110.3		91.8		107.0		85.2	
70.0	87.0		81.8		88.4		87.1	
40.0	83.1		72.6		71.5		76.0	
10.0	54.8		43.7		42.5		50.5	

底板×側板溶接部

6. おわりに

パルス渦電流法を利用したLyftは，測定対象物に非接触で厚さを測定することが可能である．残肉厚は，使用するプローブの種類とリフトオフにより決定されるAveraging Areaの平均肉厚として測定されるため，孔食等の局部減肉に対しては，誤差が大きくなることを考慮する必要がある．日本国内で一般的に使用されている亜鉛めっき外装鋼板は，磁場の拡散等により渦電流の誘起に影響を与えるが，減肉の傾向は検出可能である．

Lyftが国内プラントで問題となっているCUIのスクリーニング検査技術として，有効活用されることを期待する．

鈴木　大介（東亜非破壊検査㈱　業務推進統括部）

参考文献

1) Eddyfi社 https://www.eddyfi.com/
2) Dalpé, C., V. Demers-Carpentier, M. Rochette, M. Grenier, C. Tremblay, M. Sisto, F.Hardy, and M. Turgeon:Pulsed Eddy Currents：Overcoming Adverse Effects of Galvanized Steel Weather Jacket：Les Journées COFREND 2017, Strasbourg, France.（2017）