

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14298

研究課題名(和文) 広域一括CUI検査・評価技術の実現に向けた挑戦

研究課題名(英文) Development of a microwave nondestructive testing method for the long-range inspection of corrosion under insulation

研究代表者

遊佐 訓孝 (Yusa, Noritaka)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60466779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：プラント等の大規模構造物の保全活動において重要な課題の一つである防護材付配管の外壁面腐食の効率的な検査の実現のための、マイクロ波を用いた広域一括探傷技術の開発を行った。3次元有限要素法解析による詳細な電磁場評価の結果、管側面から周方向に等間隔でTEMモードのマイクロ波を伝送する同軸ケーブルを挿入することで、断熱材部にTEMモードのマイクロ波を効率的に伝播させることが可能であることを見出した。実際にマイクロ波入射部を製作し、長さ1-2mの模擬腐食加工二重管を用いた検証試験を行い、模擬腐食からの明瞭な信号を確認するとともに、信号のTOFから模擬腐食の位置をほぼ正確に評価できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at the development of a nondestructive testing method using microwave for the long-range inspection of corrossions under insulations. Three-dimensional finite element simulations were conducted, whose results revealed that situating coaxial cables carrying TEM microwave circumferentially with an equal distance enables to convert TEM microwave propagating inside the coaxial cables into another TEM microwave propagating inside insulators. Subsequent experimental verifications were performed using a eight-way power divider and double pipes with artificial grooves simulating a corrosion under insulation. The experiment confirmed a clear signals due to the artificial grooves, and the time-of-flight of the signals agreed well with the actual location of the artificial grooves.

研究分野：原子力工学

キーワード：電磁非破壊検査 マイクロ波 広域検査 配管

1. 研究開始当初の背景

大規模プラントの保全活動の効率化は現代社会において重要事項の一つであり、特に重要な具体的課題として近年世界各国で活発な研究活動が行われているのが、CUI (Corrosion Under Insulation)と呼ばれる防護材付配管外壁面腐食の検査・評価技術の高度化である。現時点では長大な配管を効率的に検査するという要求を満たす技術は存在せず、結果として多大な費用と長い工期をかけて防護材下の配管外壁面腐食の検査と評価を行っているのが実状である。

一方、申請者らはこれまでに、マイクロ波を用いた配管内壁面の広域一括探傷に関する技術開発を行ってきた。これは管の内部にマイクロ波を伝播させることで管内壁面のきずを検出するというものであり、管内壁面を広範囲にわたって一瞬で検査可能な技術と期待されている。導波管や共振空洞のような理想的な対象を除いては適切にマイクロ波を対象に入射・伝播させることが容易ではないため、当該技術の実現性には課題が大であると考えられていたのだが、近年、マイクロ波の入射部の形状を工夫することでそのような課題を解決し、もって検出すべき対象からの信号を大幅に明瞭化させることが可能であることを見出し、約 30m 直管の内壁面一括検査という実証試験にも成功した。よって、当該技術に基づき、図1のように、管の内部ではなく二重管の断熱材部にマイクロ波を適切に伝播させることで、防護材及び断熱材を除去することなく、CUIの広域一括探傷が可能となると期待される。

<引用文献>

Yasutomo Sakai, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Nondestructive evaluation of wall thinning inside a pipe using the reflection of microwaves with the aid of signal processing, Nondestructive Testing and Evaluation 27(2) (2012), 171-184.
 Kota Sasaki, Linsheng Liu, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Optimized microwave excitation probe for general application in NDT of wall thinning in metal pipes, NDT&E International 70 (2015), 53-59.
 Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Evaluation of the applicability of efficient nondestructive testing using microwave for wall thinning inside a long-range metal pipe, The 2nd International Conference on Maintenance Science and Technology, Kobe, Japan, 2014/11/02-05.

2. 研究の目的

本研究は上述の背景を鑑みて実施される

ものであり、防護材と配管の外壁面との間の断熱材が充填された領域にマイクロ波を伝播させることによる、保温材付配管外壁面腐食の広域一括検査技術を提唱し、その有効性の実証に挑戦することを目的とする。

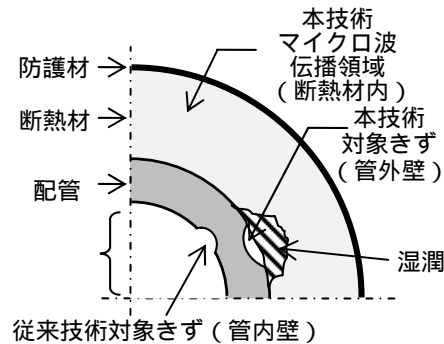


図1 従来研究と本研究の対象比較 (管 1/4 断面図)

3. 研究の方法

マイクロ波を用いた配管広域一括探傷技術においては、発振器により発振されたマイクロ波は分散が無くまた伝播が容易なTEMモードにて同軸ケーブル内を伝播し、対象となる配管に入射される。既往研究により管内への効率的なマイクロ波の入射が肝要であることが明らかとなっているが、本研究においては、マイクロ波を伝播させるべき断熱材と同軸ケーブルとの接合部における幾何学的不連続性が大であるため、単純な接続では大半のマイクロ波が入射部で反射してしまい、結果として保温材部にはマイクロ波がほとんど入射しないことが強く危惧される。そこで本研究においては、まず、3次元有限解析により、断熱材部にマイクロ波を効率的に伝播させるための入射部構造を検討する。適用対象の一般性を考慮し、本研究においては防護材に設けた穿孔より同軸ケーブルを挿入しての断熱材部へマイクロ波伝播することを想定するものとし、管内へのマイクロ波エネルギーの入射効率が高く、かつ可能な限り単一モードでの伝播が広い周波数帯にわたって支配的となるために、適切な同軸ケーブル挿入箇所、本数、及び必要に応じて入射部に施すべき加工の形状を評価する。計算効率のため解析は周波数領域で行い、管軸方向には適当な箇所にマイクロ波エネルギー完全吸収領域を設けることで、十分に長い配管を模擬するものとする。

続いて、数値解析結果に基づき、実際にマイクロ波を防護材付配管の断熱材部に伝播させるためのマイクロ波入射部を製作し、防護材付配管模擬試験体を用いた検証及び各種因子の影響度合い評価のための実験を実施する。試験の効率化のため、防護材付配管は径の異なる配管を組み合わせた二重管として、CUIは内管外表面に人工的に加工した溝で模擬することとする。

4. 研究成果

数値解析の結果、管の周方向から等間隔に TEM モードのマイクロ波を伝送する同軸ケーブルを挿入することで、防護材部にマイクロ波を効率的に入射させることができること、またマイクロ波の伝播モードは TEM モードが主となるということが明らかとなった。

数値解析結果に基づいて製作されたマイクロ波入射部と、当該入射部を用いての試験の様子を図2に示す。被測定管は外径 39 mm、内径 25 mm の二重管であり、長さは 1000 及び 2000 mm である。ネットワークアナライザ (Agilent Technology 製, E8363A) からマイクロ波を発生し、パワーディバイダによって同位相、同振幅の 8 本の同軸ケーブルに分岐させられたのち、入射部側面に等間隔に取り付けられた 8 か所のコネクタを通して被測定管に入射させられている。得られた測定信号の一例を示したものが図3である。図中矢印で示したピークが CUI を模擬した内管外壁面の溝からの反射波である。当該ピークにはさらに 2 つのピークがあることが確認できるが、管内におけるマイクロ波の伝播速度を真空中の光速であるとして TOF より信号源の位置を評価すると、1 つ目のピークが溝前縁部にほぼ対応する 0.48 m、2 つ目のピークが溝後縁部にほぼ対応する 0.53 m であり、当該技術を用いて CUI の検出のみならず高精度での位置評価も可能であることが確認された。

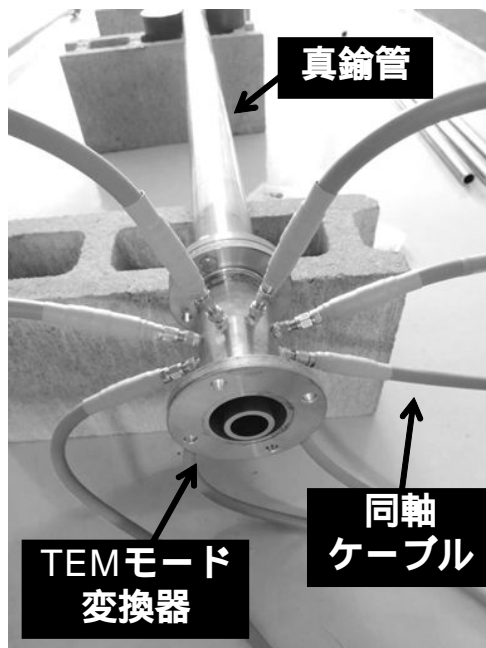


図2 断熱材部 TEM モードマイクロ波伝播用マイクロ波入射部を用いた模擬 CUI 付与二重管測定試験外観

以上に加えて、図2に示したマイクロ波入射部とほぼ同様の構造の入射部を用いて単管にマイクロ波を伝播させた場合、広い周波数帯にわたって TE モードを伝播させること

ができる、即ち TEM から円管 TE へのモード変換が可能となる可能性が見いだされた。TE モードのマイクロ波を用いると従来の TM モードのマイクロ波では検出がこんなであった軸方向割れの検出が可能となると考えられることを踏まえて実際に単管を用いて行った試験の結果、実際に軸方向を向いた割れから明瞭な反射波を確認することに成功した。

また、実際に当該技術を用いる際には対象には複数の CUI が存在しうることを鑑み、得られた信号からの対象評価時における空間分解能向上のための信号処理技術について検討を行い、従来行われていたマイクロ波の分散を補償する信号処理時に、マイクロ波入射時刻からの時間遅れに応じた窓関数を乗ずることで、当該技術を用いて得られた信号に含まれるきず位置に関する情報の定量性が飛躍的に向上することを見出した。

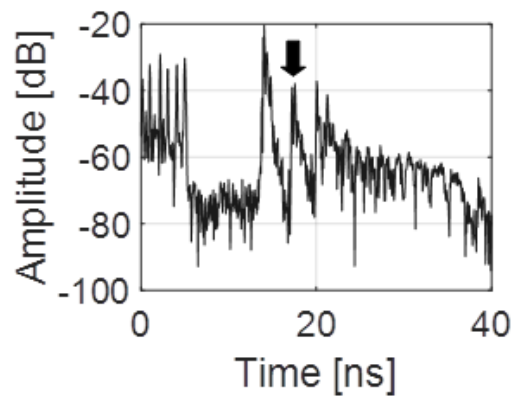


図3 測定信号一例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Kota Sasaki, Takuya Katagiri, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Demonstration of the applicability of non-destructive microwave testing to the long-range inspection of a crack appearing at the inner surface of a pipe, Materials Transactions, 査読有, Vol. 58, 2017, 692-696.
(DOI: 10.2320/matertrans.M2017008)

〔学会発表〕(計9件)

Takuya Katagiri, Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Applicability evaluation of microwaves for detecting corrosion under insulation, 22nd International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, Saclay (France), 2017/09/06-08.

Kota Sasaki, Takuya Katagiri, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Long-range inspection of a crack on the inner surface of a pipe using microwaves, 22nd International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, Saclay (France), 2017/09/06-08.

Shoya Uoshita, Kota Sasaki, Takuya Katagiri, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Long-range inspection of a pipe with a bend using microwaves, 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Chamonix Mont Blanc (France), 2017/09/03-06.

Takuya Katagiri, Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Proposal of a TEM to TE01 mode convertor for a microwave nondestructive inspection of axial flaws appearing on the inner surface of a pipe with an arbitrary diameter, 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Chamonix Mont Blanc (France), 2017/09/03-06.

片桐拓也, 佐々木幸太, 遊佐訓孝, 橋爪秀利, マイクロ波を用いた配管内壁面開口割れの検出と評価, 日本非破壊検査協会東北支部講演会, PARMCITY313 (仙台), 2017/04/21.

片桐拓也, 佐々木幸太, 遊佐訓孝, 橋爪秀利, 二重管内の減肉検出のための TEM モード発振によるマイクロ波探傷法の適用性評価, 日本非破壊検査協会平成 28 年度秋季講演大会, ハーネル仙台 (仙台), 2016/10/06-07.

Takuya Katagiri, Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Non-destructive testing using microwave in TE mode for detecting axial cracks in a metal pipe, 21st International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, 2016/09/25-28, Lisbon (Portugal).

片桐拓也, 佐々木幸太, 遊佐訓孝, 橋爪秀利, 配管内軸方向き裂探傷のための TE モード発振によるマイクロ波探傷法の高度化, 電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 慶應義塾大学日吉キャンパス (横浜), 2016/05/18-20.

片桐拓也, 佐々木幸太, 遊佐訓孝, 橋爪秀利, マイクロ波を用いた配管内軸方向割れ探傷における TE モード発振のための入射部構造の検討, 日本非破壊検査協会東北支部学術講演会, エルパーク仙台 (仙台), 2016/04/22.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

遊佐 訓孝 (YUSA, Noritaka)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 6 0 4 6 6 7 7 9