

令和 5 年 4 月 16 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11933

研究課題名（和文）小型中性子源を用いた鋼材の塗膜下腐食の成長の観察

研究課題名（英文）Observation of steel under-film corrosion progression by compact neutron source

研究代表者

竹谷 篤（Taketani, Atsushi）

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・副チームリーダー

研究者番号：30222095

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：理研小型中性子源を用いて、水の定量化観察のための検量線測定を石英セル中の水で行った。10 μ m厚程度の薄いサンプルを水で作ることは困難であるので、水素含有比に近いポリイミドシートを使って、薄い部分を補完した。これらのサンプルを鋼板にはりつけ熱中性子および冷中性子で透過度を測定して、透過度と水の厚さの検量線を得た。透過度の場所による揺らぎを評価することで、1mm²面積での水の厚さは1 μ mで7 μ mの分解能で測定することができた。また散乱カーネルのありなしのシミュレーションとデータを比較した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国では鉄鋼材料の腐食による劣化・損傷が社会の大きな課題である。効果的な防食対策やメンテナンスが必要である。このための腐食中の水の動きを定量的に観察を行うための測定法の基礎を確立し、測定限界まで示した意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：Using the RIKEN accelerator base compact neutron source, calibration curves for quantitative observation of water were measured with water in a quartz cell. since it is difficult to make thin samples of about 10 μ m thickness with water, polyimide sheets with a similar hydrogen content ratio were used to supplement the thin sections. These samples were put to steel plates and measured by thermal and cold neutrons to obtain calibration curves of transmittance and water thickness. By evaluating the fluctuation of the transmittance with location, the thickness of water in an area of 1 mm could be measured with a resolution of 7 μ m at 1 μ m. The data were also compared to simulations with and without a scattering kernel.

研究分野：中性子イメージング

キーワード：中性子 透過イメージング 鋼板腐食 水の定量化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

周囲を海に囲まれ湿潤な気候を持った我が国ではインフラに広く使用される鉄鋼材料の腐食による劣化・損傷が社会の大きな課題であり、耐食性を保持する対策として古くから塗装や表面処理などが施されてきた。塗装による腐食対策コストは年間4兆円であり、このコストを低減させることが社会的に求められ、長期耐食性を維持するために適切な防食対策メンテナンスを行うことはますます重要性を増している。

これまでの腐食研究では、塗装鋼板の屋外暴露試験や、塩水噴霧・乾燥過程の繰り返し等によって、腐食されたサンプルをつくり、腐食の成長を観察してきた。しかしながら、厚かつ不透明な塗膜下で生ずる腐食現象であることから、従来手段では得られる情報には限界があった。塗膜を除去した後の顕微鏡観察を含む目視観察や、サンプルの断面切断の目視観察等はその時点での腐食の詳細を観察するには非常に有効な観察ではあるが、視野は狭くサンプルの一部のみの観察にとどまるだけでなく、サンプルの破壊を伴い、同一サンプルの時間推移を観察して腐食成長の情報を得ることは不可能であった。

2. 研究の目的

腐食成長の情報を得るために本研究では塗膜下腐食の主成分であるオキシ水酸化鉄(FeOOH)中の水素に着目し、水素に敏感な反応を示し、かつ鉄に対する透過度が高い、熱中性子を用いて、定量的な腐食のイメージング手法を開発し、実際に塗装鋼板が使われる状態での腐食が成長していく様の時間推移を高空間分解能かつサンプル全体を臨む広視野で観察するデータを供することを目的とした。

3. 研究の方法

塗装鋼板の腐食は水が塗膜化に侵入して引き起こされ、腐食として最終的にオキシ水酸化鉄(FeOOH)を生成する。このため水の侵入を定量的に観察したい。これまで透過イメージングよく使われてきた X 線であれば、鋼板中の鉄がより大きな散乱断面積をもち、水や水素にたいしてほとんど検出感度がなかったのであるが、中性子では水素の散乱断面積が鉄に比べて大きく、鋼板上でも水は高い明暗比をもって観察することが可能である。

このため理研小型中性子源(RANS)において高速中性子を発生させて、水素を含んだ減速材で減速した熱中性子や冷中性子を使って、鋼板上のサンプルの透過イメージングを行い、水の定量化を行った。検出器としては LiF/ZnS のシンチレーターと積分型 CCD センサーの組み合わせを使用した。

4. 研究成果

水の定量評価をおこなうためにこれまでは、放射線輸送計算を用いたシミュレーションで水の厚さと透過度の変換係数を求めてきた。これを実際に厚さの違う石英セルに水をつめ、

鋼板に貼り付けて、透過度を測定した。空の石英セルでの透過度と比べることで、水のみ
の透過度を求めることができる。図 1 に鋼板に貼り付けた石英セルの写真および、透過画像を
示す。右は水のみ透過画像である。高い明暗度で水がみえているのがわかる。

図 1 : 石英セルでの測定

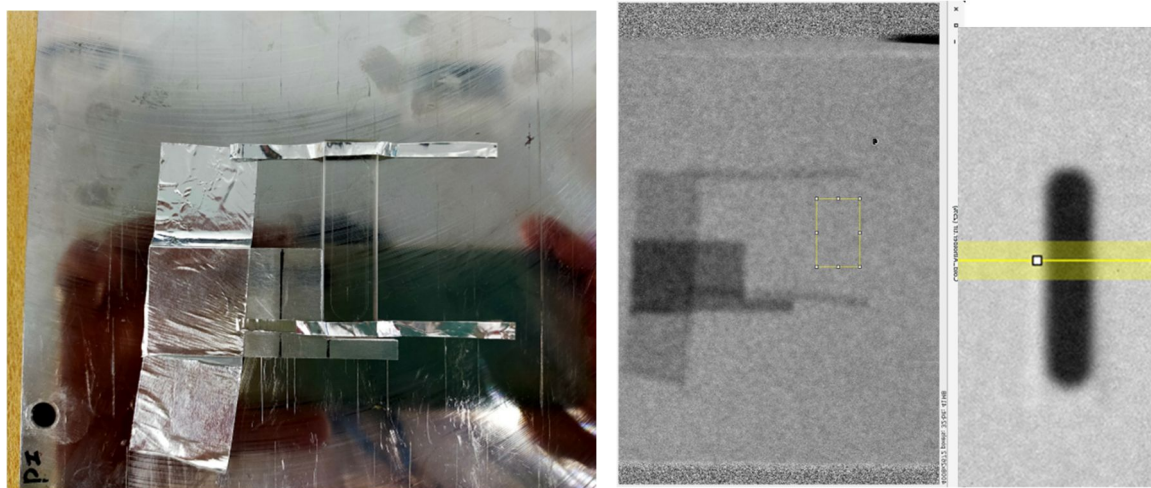


図 2 水の厚さと透過度

この測定を厚さの違うで石英セルで行った。結果を図 2 に示す。
中性子は熱中性子と冷中性子で測定を行った。

水のサンプルを薄くするのは難しいので薄い部分にかんしては
水素含有比率が水に近いポリイミドシートを用いて測定を行っ
た

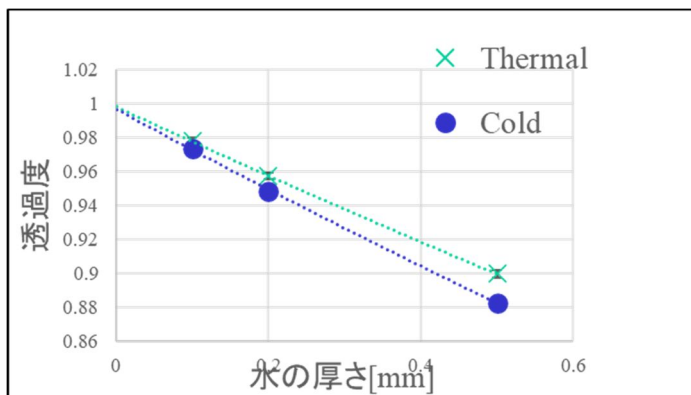
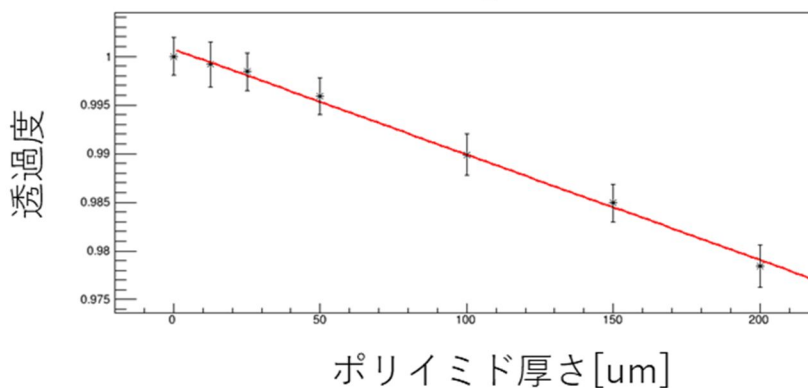


図 3 ; ポリイミド厚さと透過度

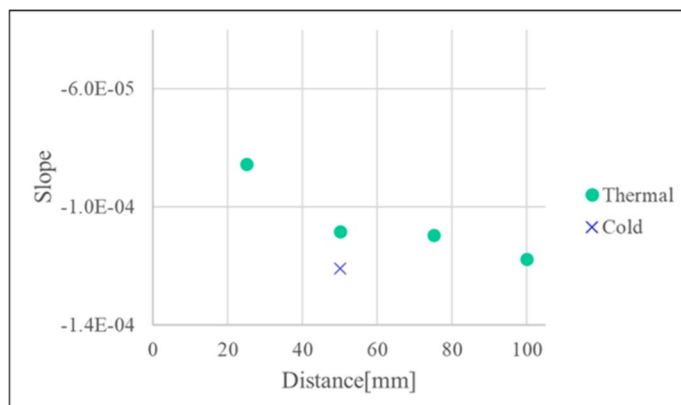
図 3 にポリイミド厚さと透過度のグラフを示す。図 2 と図 3 の傾きを
を比べることでポリイミド 100um は水 5 1
um に相当することがわかった。誤差棒は面積 1mm² での測定のば
らつきをしめしてお



り、これから水の厚さの測定の分解能は7 μm であることがわかった。

図4 鋼板と検出器間の距離と傾き

鋼板サンプルと検出器との距離をと相関の傾きを測定したものを図4に示す。このためサンプルの状態観察を長期間行う場合にはサンプルと検出器間の距離は一定にして測定する必要がある。



原子核だけではなく分子原子による散乱の違い(散乱カーネル)まで入れたシミュレーションと実測値を比較したところ、入れない者に比べて、よりよく実測値を説明していることがわかった。

本研究では当初の目標とした腐食鋼板の長期的な観察まではできなかったが、長期測定の基礎となる、測定法および検量線の知見が得られたことで、腐食の研究に対して貢献できたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mingfei Yan, Yasuo Wakabayashi, Yoshie Otake, Yujiro Ikeda, Atsushi Taketani, Takao Hashiguchi, Sheng Wang, Binbin Tian, Takaoki Takanashi, Tomohiro Kobayashi and Baolong Ma	4. 巻 Vol. 231, No. 05008, P. 1-4
2. 論文標題 Reconstruction on fast neutron CT for concrete structure inspection with a pixel-type detector by applying linear scanning method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web Conferences	6. 最初と最後の頁 P. 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Y. Wakabayashi, T. Hashiguchi, Y. Yoshimura, M. Mizuta, Y. Ikeda and Y. Otake	4. 巻 Volume 231
2. 論文標題 Study of a collimation method as a nondestructive diagnostic diagnostic technique by PGNAA for salt distribution in concrete structures at RANS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web Conf	6. 最初と最後の頁 571,578
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Atsushi Taketani, Yasuo Wakabayashi, Yoshie Otake, Yujiro Ikeda, Takumi Wakabayashi, Kenji Kono, Tetsuya Kai, Kenichi Oikawa, Hideyuki Sunaga, Masako Yamada, Takenori Nakayama	4. 巻 59
2. 論文標題 Quantification of Localized Water Image in Under-Film Corroded Steel with High Spatial Resolution, High Time Resolution, and Wide View by Neutron Radiography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 976-983
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.M2018017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Wakabayashi, Y. Yoshimura, M. Mizuta, Y. Ikeda, T. Hashiguchi, T. Kobayashi, A. Taketani, S. Yanagimachi, M. Goto, H. Sunaga, Y. Ikeda and Y. Otake	4. 巻 13
2. 論文標題 A Study on the Non-Destructive Detection of Salt in Concrete Using Neutron-Captured Prompt-Gamma Rays at RANS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of LANSAS '17	6. 最初と最後の頁 240405
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.13.2404052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Atsushi Taketani, Takaaki Takanashi, Yan Mingfei, Takao Hashiguchi, Yujiro Ikeda
2. 発表標題 Evaluation of thin water thickness on a steel plate at RANS
3. 学会等名 International Symposium of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Taketani, Takaaki Takanashi, Chihiro Iwamoto, Tomohiro Kobayashi, Masato Takamura
2. 発表標題 Sample synchronized Neutron Stroboscope at RANS
3. 学会等名 International Symposium of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsubasa Yamano, Atsushi Taketani, Kenta Sugihara, Takaaki Takanashi, Kanenobu Tananaka, and Kazuyoshi Kurita
2. 発表標題 Automatic measurement system of neutron dose at RANS experimental hall
3. 学会等名 International Symposium of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Taketani Makoto Goto
2. 発表標題 Operation of RANS
3. 学会等名 International Symposium of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹谷篤, 高梨宇宙, 小林知洋, 高村正人
2. 発表標題 サンプルの回転運動に同期した中性子ストロボスコープ
3. 学会等名 中性子科学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Taketani
2. 発表標題 Quantitative determination of thin water layer thickness distributed on steel plate
3. 学会等名 4th Joint RIKEN/HBS Workshop, (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 初田真知子、竹谷篤他
2. 発表標題 食物資源への宇宙放射線の影響
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹谷篤
2. 発表標題 理研小型中性子源での熱中性子イメージングにおけるガンマ線の影響評価
3. 学会等名 日本中性子科学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹谷篤
2. 発表標題 理研小型中性子源RANSによるイメージング
3. 学会等名 理化学研究所-広島大学合同シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹谷篤
2. 発表標題 中性子を使った腐食鋼板中の水の観察
3. 学会等名 第1回かけはし「中性子マイクロスコープの実現に向けた調査研究」研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A.Taketani
2. 発表標題 Operation of RANS
3. 学会等名 The 3rd RAP-JCNS Joint Workshop Program, Wako, Japan(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Taketani
2. 発表標題 Operation of RANS
3. 学会等名 The 3rd RAP-JCNS Joint Workshop Program(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y.Wakabayashi, Y.Yoshimura, M.Mizuta, Y. Ikeda, T.Hashiguchi, A.Taketani, T.Kobayashi, M.Goto, H.Sunaga, Y.Ikeda, Y.Otake
2. 発表標題 Development of nondestructive technique for salt distribution measurement in structural concrete by PGA at RANS
3. 学会等名 RANS2-HUNS2 International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 "S.Takeda, Y.Yamagata, T.Hosobata, T.Kawai, M.Takeda, Y.Otake, T.Kobayashi, A.Taketani, Y.Wakabayashi, S.Uno "
2. 発表標題 The development of a methyl benzene based cold neutron source at RIKEN
3. 学会等名 RANS2-HUNS2 International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y.Otake ,A.Taketani, T.Kobayashi, H.Sunaga, M.Takamura, Y.Wakabayashi, M.Mizuta, Y.Yoshimura, T.Hashiguchi, M.Goto, S.Mihara, Yu.Ikeda
2. 発表標題 RIKEN Accelerator-driven compact neutron sources RANS, RANS2 and the applications
3. 学会等名 RANS2-HUNS2 International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 若林 泰生, 竹谷 篤, 橋口 孝夫, 池田 義雅, 小林 知洋, 王 盛, Mingfei Yan, 原田 正英, 池田 裕二郎, 大竹 淑恵
2. 発表標題 小型中性子源のためのp-Be中性子スペクトル関数及び応用利用から核データに対するニーズ例
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会 部会・連絡会セッション「小型加速器中性子源と核データのニーズ」
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 公益社団法人日本アイソトープ協会理工学部会中性子応用専門委員会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本アイソトープ協会	5. 総ページ数 105
3. 書名 中性子イメージングカタログ / 中性子施設ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	片山 英樹 (Katayama Hideki) (10354218)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・分野長 (82108)	
研究分担者	若林 泰生 (Wakabayashi Yasuo) (80447359)	国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・研究員 (82401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------