

# 食品添加物からつくる 環境負荷の低い新規腐食抑制剤

2023年6月1日

JAEA

大谷恭平

## 本発表の概要

福島第一原子力発電所(1F)の原子炉格納容器内部  
の環境に最適な腐食抑制剤を開発できないか？



環境負荷が低く、淡水中の炭素鋼に効果的な食品添  
加物からなる腐食抑制剤を開発できた



広く応用可能な腐食抑制剤であるため紹介する

福島第一原子力発電所(1F) 2号機 原子炉格納容器内部調査

出典：東京電力ホールディングス (<https://photo.tepco.co.jp/date/2018/201801-j/180119-01j.html>)

## 本日の流れ

- ◆ 自己紹介
- ◆ 従来技術とその問題点
- ◆ 新たな腐食抑制剤の考案方法
- ◆ 抑制効果の検証結果
- ◆ 本発明の産業利用性・優位性・実用化への課題
- ◆ 社会実装へ向けた今後の展開

## 自己紹介

### 大谷 恭平

2012年 北海道大学大学院材料科学専攻 修士課程卒業

2012年 製缶会社(民間企業)に就職

製造、品質、開発部門で業務に従事、2015年退職

2018年 北海道大学大学院材料科学専攻 博士後期課程卒業

(淡水中の鋼やアルミニウムの腐食、防食に関する研究)

2018年 日本原子力研究開発機構入社

原子力基礎工学研究センター 防食材料技術開発グループ

1Fの廃炉措置に係る腐食研究に従事

(淡水中の鋼の腐食、防食)

1F環境で炭素鋼の腐食を抑制するため、既存の腐食抑制剤が検討された



亜鉛系の既存の腐食抑制剤が有効と報告されている

田中ら, 第64回材料と環境討論会 講演集, 2017, 467-470.

既存品に含まれる各種成分の一般排水基準

インヒビター	排水基準 [ppm] 環境省HPより	懸念点 [△:懸念あり]
モリブデン(Mo)酸イオン	なし	○
亜鉛(Zn)イオン	2	△
リン酸イオン	16	△

既存品は排水基準の面で1F環境において懸念がある



排水基準のない金属イオンで腐食抑制剤を提案できないか？

## ◆ 金属イオンの腐食抑制能, $Y$

K. Otani et al., Corros. Sci., 111, 302 (2016)

$$Y = X \cdot K_i$$

金属イオンの鋼材表面への結合しやすさ

皮膜の保護性

$$X = [X_M^0 + (\sum I_n)^{1/2}]^2 / 10$$

$X_M^0$ : 電気陰性度,  $I_n$ : イオン化ポテンシャル

Misono et al., J. Inorg. Nucl., 29 (1967) 2685-2691

$$K_i = V_{Fe_2O_3} / 10 |V_{Fe_2O_3} - V_{cat}|$$

$V_{Fe_2O_3}$ :  $Fe_2O_3$  のモル体積

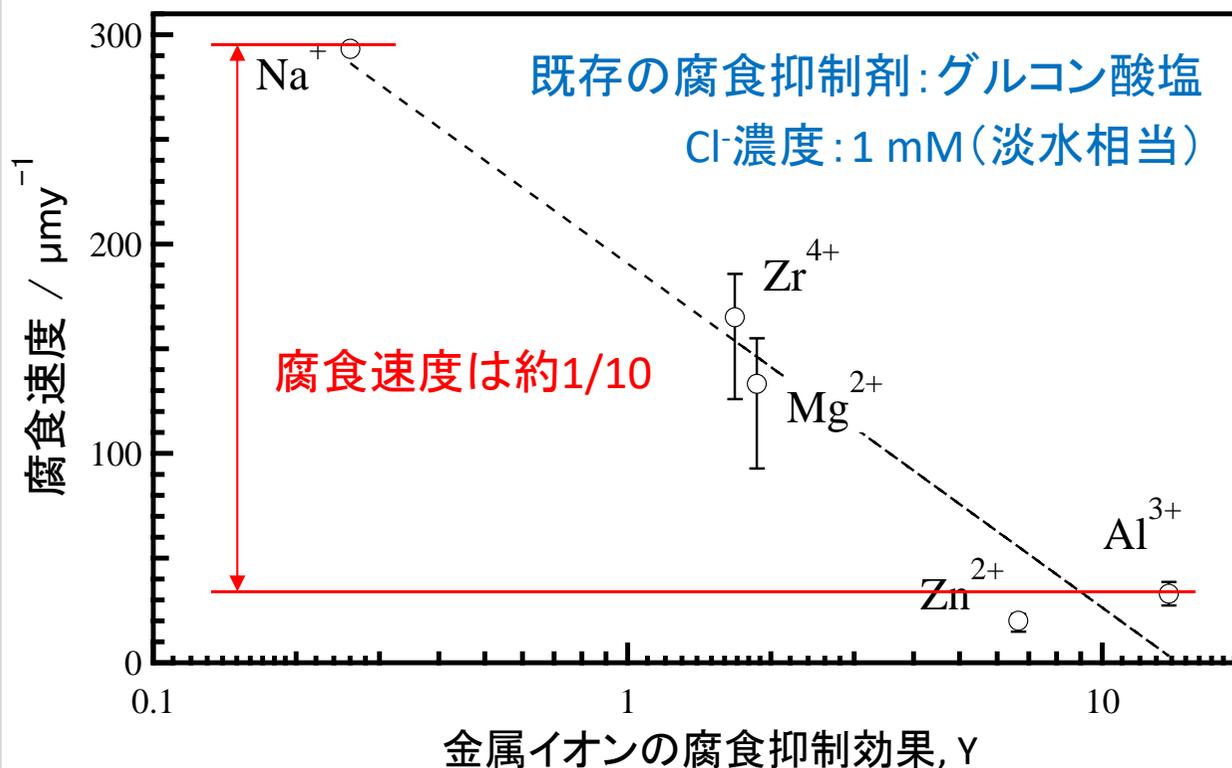
$V_{cat}$ : 金属カチオン層のモル体積

**$Y$  の大きい金属イオンは鋼の腐食を抑制する**



**$Y$  の大きい金属イオンほど既存の腐食抑制剤の性能を向上できる?**

## ◆ 金属イオンの添加による腐食抑制剤の性能向上



Yの大きい金属イオンほど既存の腐食抑制剤の効果を向上させる

K. Otani et al., J. Electrochem. Soc., 164, C498 (2017)

Yが大きく排水基準の無いAlイオンを選定

# 新たに考案した腐食抑制剤

## 乳酸AIとMo酸Naからなる腐食抑制剤

大谷恭平、JAEA、水系における防食剤および防食方法、特許第6932409号

### 乳酸AIを選定した理由

- 水に溶かしたときのpHが低すぎず、乳酸イオンの腐食性も低い
- 食品添加物に使われるほど毒性が低い
- これまでに金属材料の腐食抑制剤として全く使用されていない

本発明において乳酸AIの選定が重要なポイント

なぜ乳酸AIにたどり着けたのか？

## 新たに考案した腐食抑制剤

### ◆ 従来の方法

多様な薬品を試して効果の高いものを選定、実用化する

### ◆ 今回の方法

考案した理論式の裏付けを元に効果の高いイオン種を選定

Al化合物の多くは水に溶けず、水に溶ける化合物は腐食性の高いものばかりで腐食抑制剤として成立しにくい



Al化合物を腐食抑制剤として使おうと考えにくい

理論的な裏付けからAlイオンの性能に確信を持てたからこそ、乳酸Alまで辿り着くことが出来た

## 新たに考案した腐食抑制剤

### ◆ 従来の方法

多様な薬品を試して効果の高いものを選定、実用化する

### ◆ 今回の方法

考案した理論式の裏付けを元に効果の高いイオン種を選定

AI化合物の多くは水に溶けず、水に溶ける化合物は腐食性の高いものばかりで腐食抑制剤として成立しにくい

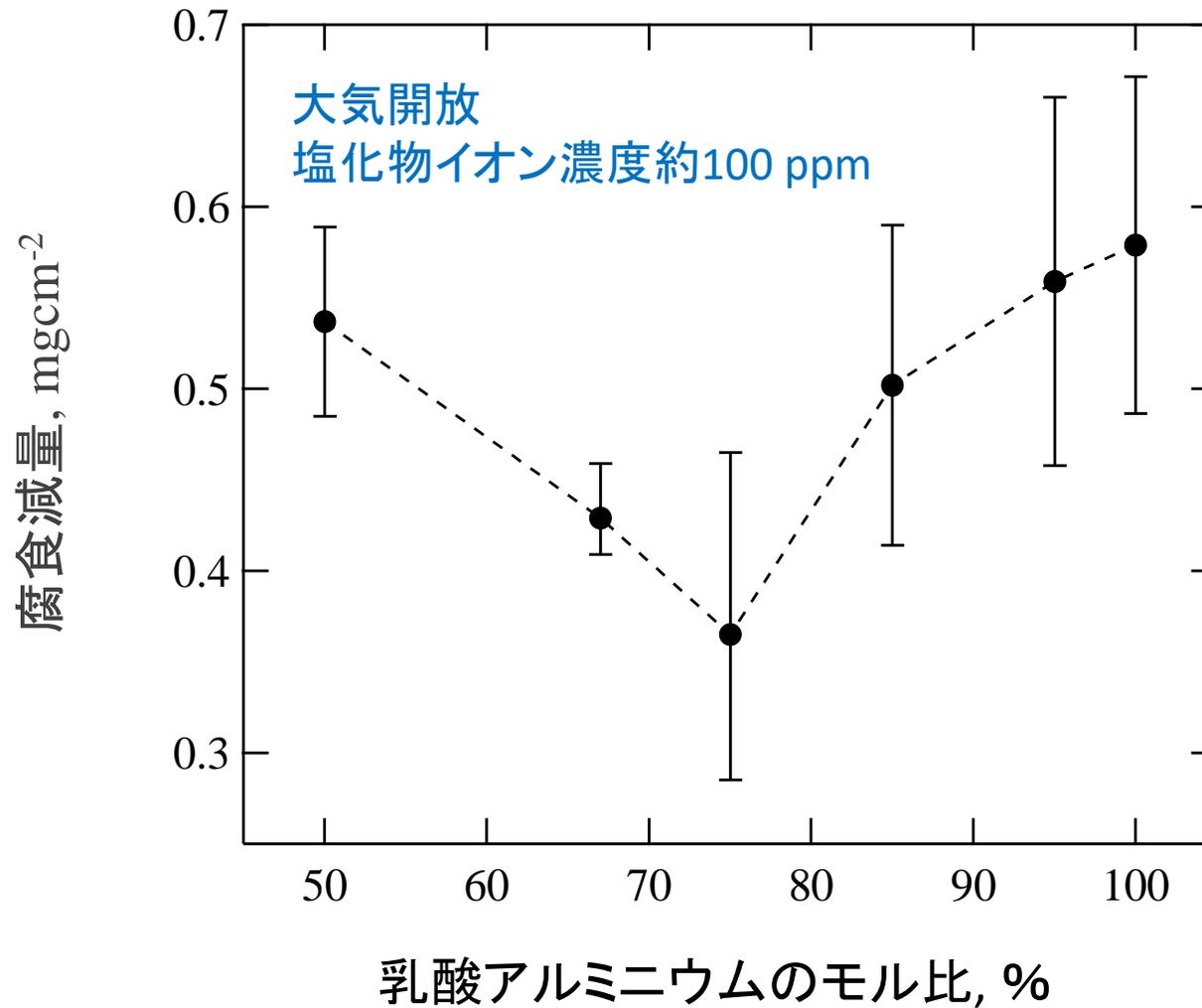
理論式を元にして様々な条件に最適な金属イオン系  
腐食抑制剤を提案できる可能性が高い

## 抑制効果の検証結果の流れ

- ◆ 最適な混合比率
- ◆ 既存品との比較
- ◆ ガンマ線照射下での性能
- ◆ 気液界面環境での性能
- ◆ 腐食抑制メカニズム

1Fを想定した環境

## 乳酸AlとMo酸Naの最適な混合比率



乳酸Al:Mo酸Naはモル比75:25(3:1)で最も効果が高くなる

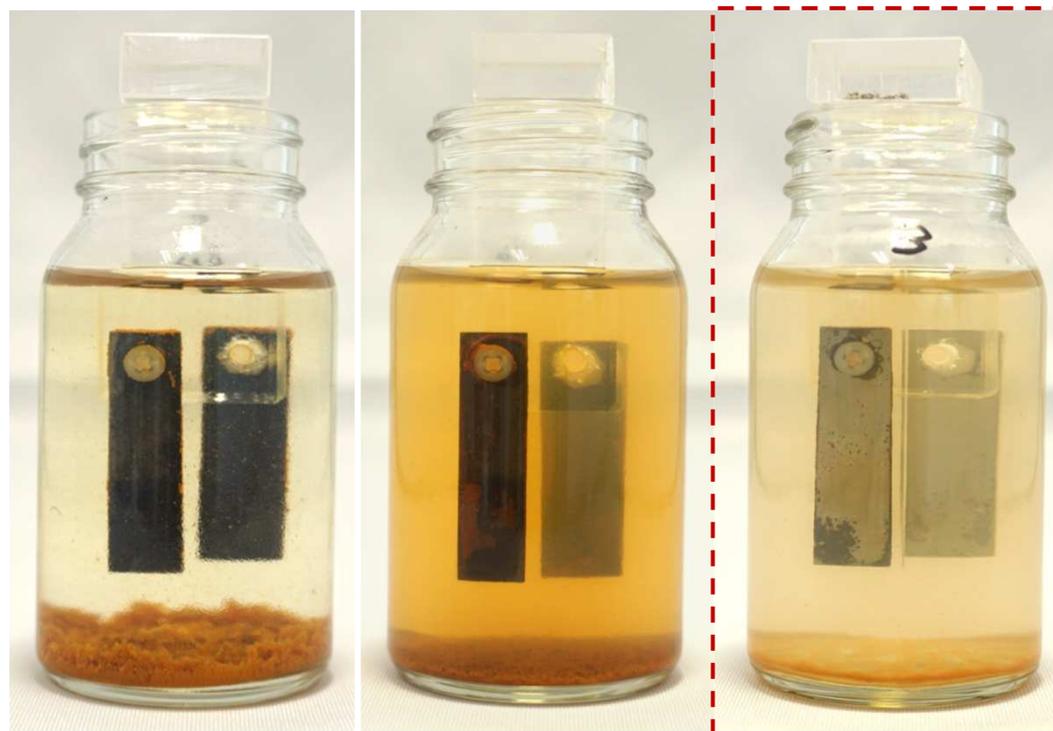
# 既存品との比較

100時間浸漬後の外観写真(腐食抑制剤の濃度は同一[1mM])

腐食抑制剤  
無し

既存品  
(Zn系)

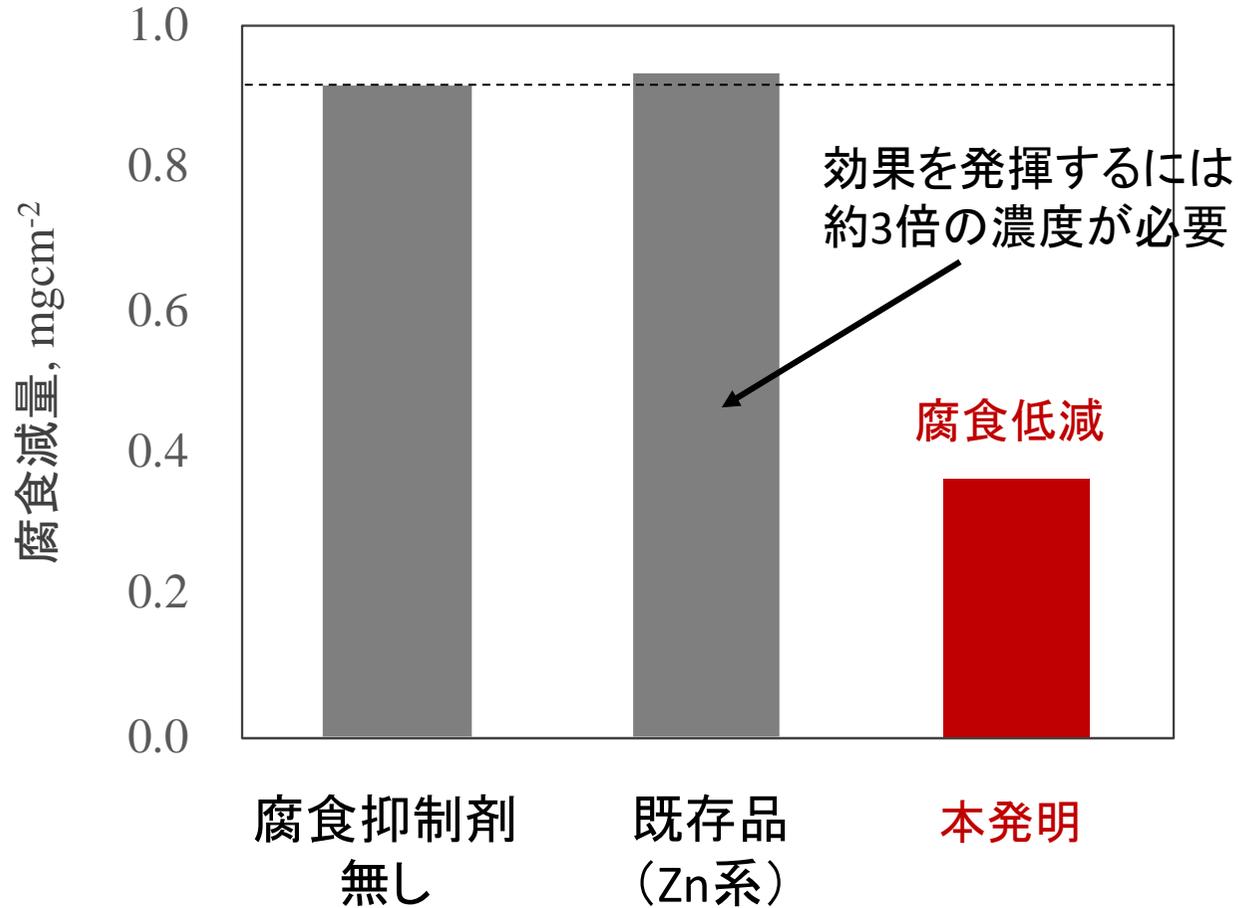
本発明



腐食抑制剤の種類によって溶液の色や試料表面の様子が異なる

# 既存品との比較

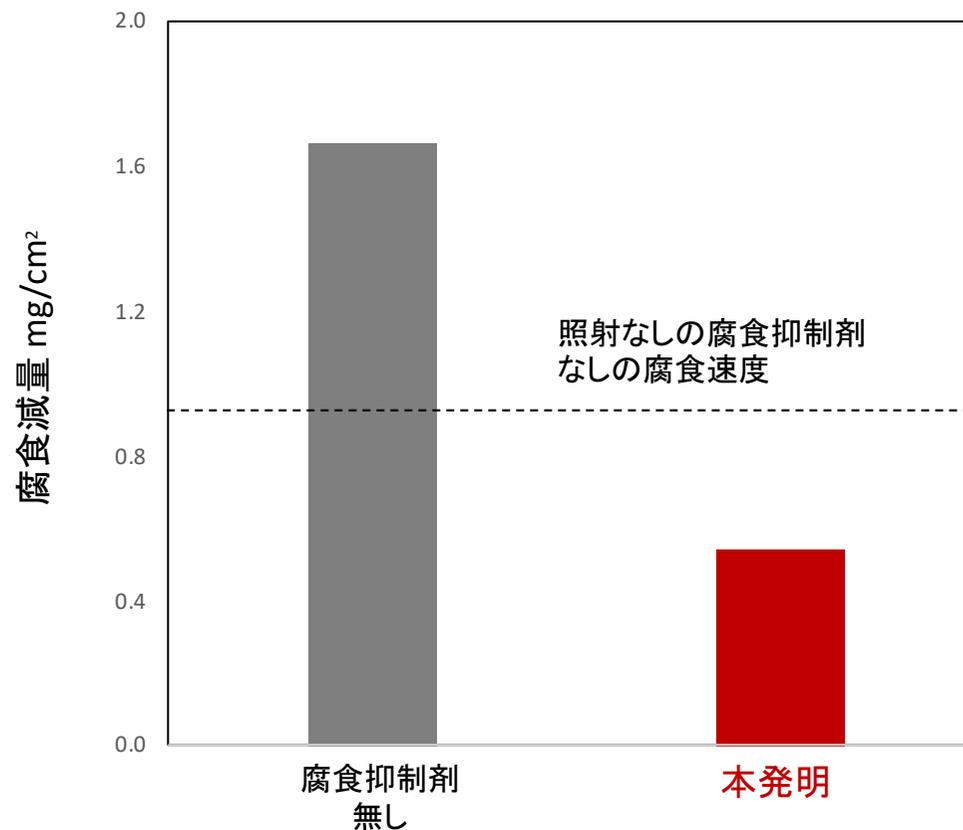
100時間浸漬後の腐食減量 (腐食抑制剤 1mM)



本発明の腐食抑制剤は既存品では効果を発揮できない  
低い濃度でも腐食抑制に効果を発揮する

# ガンマ線照射下での性能

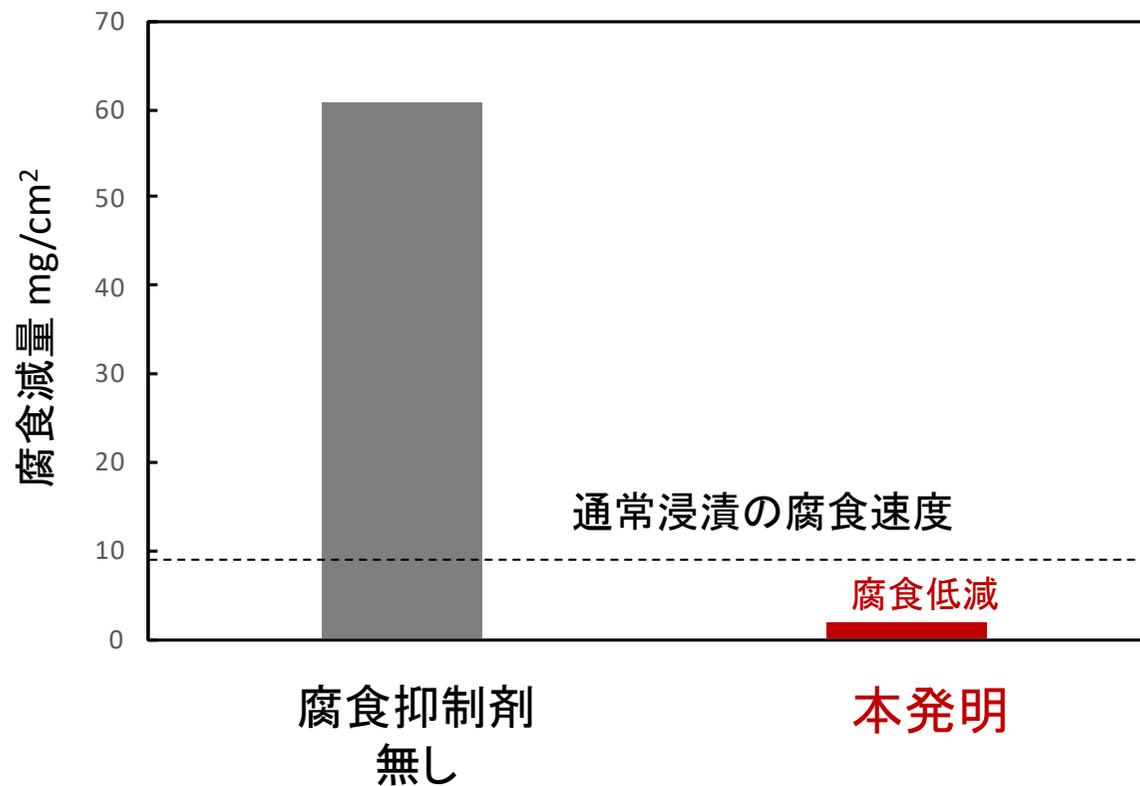
0.2 kGy/hのガンマ線照射環境下で100時間浸漬試験を実施



ガンマ線照射環境下でも炭素鋼の腐食を抑制

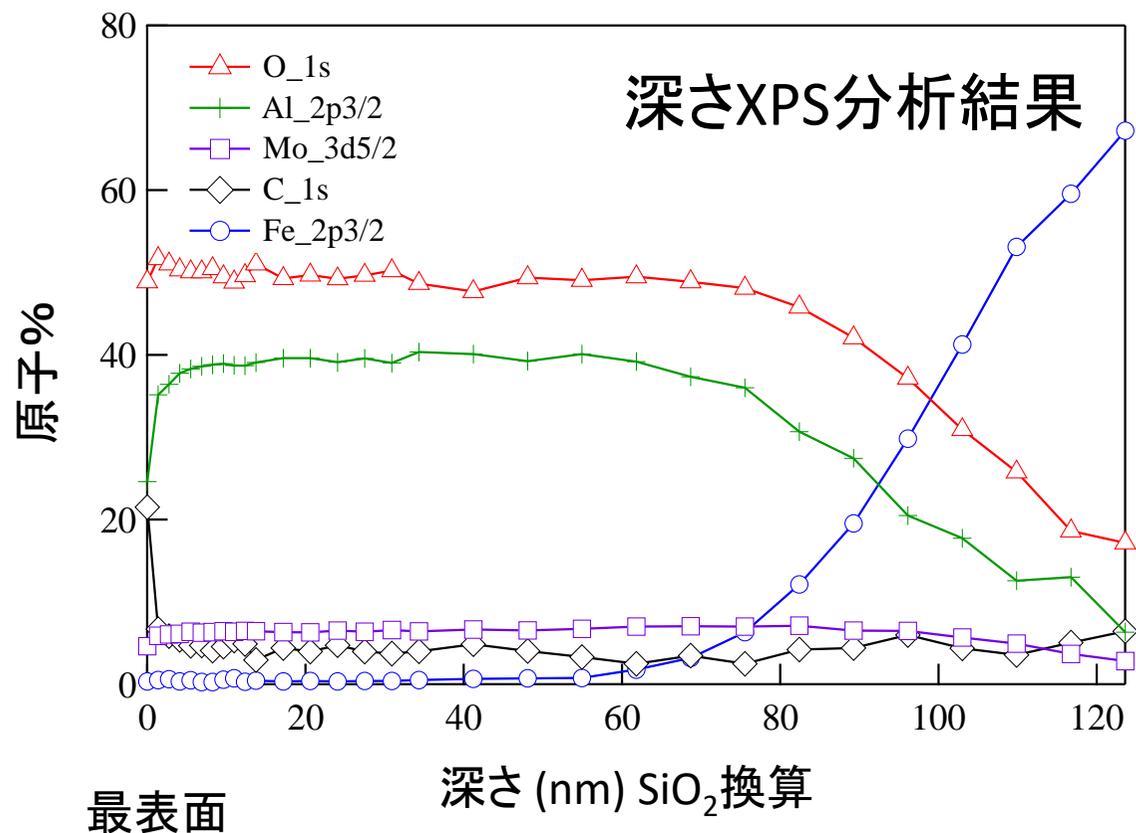
# 気液界面環境での性能

液膜の影響で酸素供給量が多く、炭素鋼の腐食が加速される環境



気液界面環境で大きく腐食を抑制できる

# 腐食抑制メカニズム



## 本発明：中性淡水環境における炭素鋼の腐食抑制剤

### 水道水や純水

産業で最も広く冷却・温調循環系の媒体として用いられる

### 冷却・温調配管等の材料

コスト面の理由から腐食は発生するが配管で広く使用される

## 腐食抑制剤の市場規模

1年あたりに費やされる腐食コスト(2015年度)

腐食抑制剤全体	449億円
ボイラ水、冷却・温調系(重化学工業、ビル空調)の腐食抑制剤 [本発明の波及する範囲]	423億円

## 他の腐食抑制剤との比較

腐食抑制剤	排水基準 環境省HPより	腐食抑制に 必要な濃度	コスト概算 (試薬で計算)
亜鉛系 既存品	× (2ppm) 1L中に2mgしか添加で きない厳しい値	○ ( $\geq 600$ ppm) 排水基準に抵触	1.5万円/1000L 600ppmで計算
Mo酸系 既存品	○ (基準なし)	× ( $\geq 4780$ ppm) 添加量が多い	11.9万円/1000L 4780 ppmで計算
乳酸Al/Mo酸Na (本発明)	○ (基準なし)	◎ (27 - 810 ppm) 約270 ppmで効果最大	0.5万円/1000L 270ppmで計算

排水基準およびコストの面で既存品に対して優位

## 本発明の優位性

- ◆ 排水基準が無く、環境負荷が低く、少量の添加で淡水中の炭素鋼の腐食を抑制可能
  - 水処理の制限や、毒性の高い薬品に制限がある環境に対して強みを持つ  
食品工場、食品容器工場など
- ◆ 有機物が防食に関与しないため、ガンマ線照射下の淡水中でも炭素鋼の腐食を抑制可能
  - 一般的な環境に優しい有機系腐食抑制剤にはない強みを持つ
- ◆ 金属の表面に耐食性のある緻密な被膜を形成して腐食を抑制する
  - 先行研究から、海水などの塩化物イオン濃度の濃い溶液でも本発明は効果を発揮すると考えられる

本研究は研究が終わって特許を取得した段階



実際に現場で利用いただくためには、以下の検討が必要

- ✓ 腐食抑制剤の量産
- ✓ 現場視点での水処理の必要性の確認
- ✓ 有機物を利用するためバクテリアの繁殖への影響

研究所では検討が難しいため、利用される企業側に解決を期待したい

## ◆ 腐食抑制剤の量産



## ◆ 現場適用性の検証



市販の薬品(各500g)を混ぜるだけで調整でき  
約2200Lの水量まで試験可能

# 社会実装に向けた今後の展開

## ◆産学連携について

本発明については論文も提出し、研究段階は完了



実用化および社会実装の段階にきている

### 企業の方々への期待

- 研究のライセンスを利用した実用化
- 本研究を発展させた応用研究

# 社会実装に向けた今後の展開

## ◆ 本技術に関する知的財産権

発明の名称:水系における防食剤および防食方法

特許番号:特許6932409号

出願人:日本原子力研究開発機構

発明者:大谷恭平、加藤千明

# ご清聴ありがとうございました

## お問い合わせ先

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

JAEAイノベーションハブ

TEL : 029-284-3420

e-mail : [seika.riyou@jaea.go.jp](mailto:seika.riyou@jaea.go.jp)