

腐食センターニュース

クウェート国立科学研究所との腐食に関する共同事業4年間の活動成果

KISR PJ 研究会 原 修一

1. はじめに

クウェート国立科学研究所(Kuwait Institute for Scientific Research、以下 KISR)と腐食センターとは 2012(平成 24)年度から 2015(平成 27)年度にかけての 4 年間、JCCP 国際石油・ガス協力機関の産油国等石油関連産業基盤整備事業・産油国特別支援事業の一環として「腐食評価と腐食防食プログラムに関する技術共同事業 (クウェート国)」を遂行した。この国際共同プロジェクトの背景・目的等については 2012 年にこのニュース¹⁾で一度紹介したが、プロジェクトの終了にあたり、改めてその成果概要を記録、報告するものである。公式には JCCP 成果報告書²⁾があるので参照願いたい。腐食防食学会への報告としては、材料と環境 2016³⁾に発表した。本稿は海外、特に中東地域との技術支援・協力事業等を行う場合の参考となることを願い、関連情報も併せて記載したので気軽に読み物としてお読みいただければ幸いである。腐食センターは、この事業の実行のため専門のチーム(KISR PJ 研究会、表 2-1.3 参照)を結成し、その実行に当たった。クウェート国内でのプロジェクトに関係する主な施設位置を図 1-1 に示す。

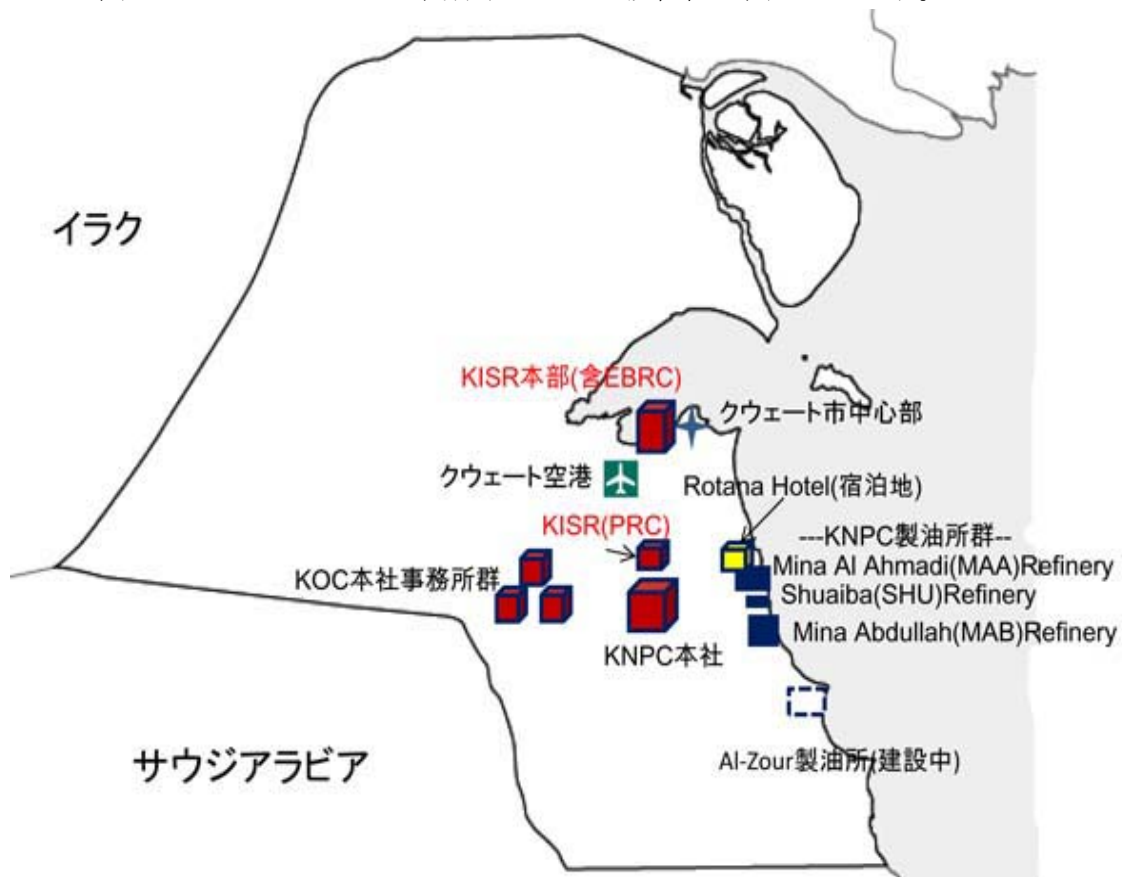


図 1-1 クウェート内プロジェクト関係施設位置関係図

2. 活動内容と成果

2. 1 研究テーマと推進メンバー

研究テーマは単に KISR だけではなく、石油関連の世界的企業である KOC(Kuwait Oil Company：原油生産)、KNPC(Kuwait National Petroleum Company：石油精製)からの意見も参考にして KISR 石油研究センター(PRC)と腐食センター間で協議、決定したものである。表 2-1.1 に遂行された各テーマの活動期間と腐食センター側担当研究員名を示す。既報¹⁾のように、「中東でトップの研究機関を目指す」KISR の変革マスタープランを支援する当方の方針としては「日本で培った技術の KISR への移転を基本思想として、テーマの実行は KISR 自身が行い、腐食センター側は技術指導に徹する」を基本にした。

表 2-1.1 共同事業研究テーマの変遷

テーマ	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	腐食センター 担当研究員
	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	
安定化ステンレス鋼の硫化水素環境下での塩化物応力腐食割れ挙動の解明	→				細谷
材料損傷事例の解析手法の確立と石油精製プラントの各種加熱炉管の寿命予測技術の確立	→				柴崎
電気化学的腐食モニタリング法の開発と実プラントへの適用(ノイズ法の適用性検討)	→				宮澤、石川
海水熱交換器銅合金製チューブの腐食モニタリング技術の確立	→				宮坂、川村
石油産業におけるコンクリート劣化モニタリング技術および練り水への海水利用	→				小玉、堀越、濱田
高経年化プラントの寿命延長技術の適用	→				細谷
KISR、KNPCおよびKOC技術者の研修・育成	→				全研究員
その他 1)ICDの検討	→				橋爪
リスク管理に関する国際会議	→				全研究員



図 1-2 KISR 石油研究センター(PRC)新館



図 1-3 KISR 本部新館とエネルギー・建築研究センター(EBRC)

PRC(図 1-2) は石油精製プロセス(触媒等)の研究者が大半を占めるが、本事業は KISR 変革プランの主要課題の一つである「腐食評価と腐食防食プログラム CAMT(Corrosion Assessment &

Mitigation Technology Program)」グループ (プロジェクトリーダー: Dr. Hamdy Shalaby)が担当した。コンクリート劣化モニタリングのテーマはエネルギー・建築研究センター(EBRC; Energy & Building Research Center) (図 1-3) の建設・建築材料プログラム(CBM: Construction and Building Materials Program)グループ (プロジェクトリーダー: Eng. Suad Al-Bahar)が担当した。表 2-1.2 には KISR 側の主要な推進メンバーを示す。表 2-1.3 に日本側推進組織である腐食センターKISR PJ 研究会メンバーリストを示した。メンバーは山本勝美プロジェクトリーダーを中心に腐食センターの各分野の専門家とコンクリート工学会からの研究者から構成された。研究会では、年 3~4 回のクウェート出張に備えて KISR PJ 研究会議を開催し、課題の共有化と活動計画策定、課題への対応策について検討し、活動を進めた。山田腐食防食学会事務局長は JCCP との手続き書類の作成、クウェートからの日本招へい研修、測定装置の通関発送、試験外注、全研究員のフライト手配等の膨大な事務局業務を担当した。

表 2-1.2 クウェート KISR 側推進メンバー

所属部門	Name	役職	窓口	関連事項
石油研究センター (PRC)	Dr. Meena Marafi	KISR副総裁 兼センタ長		クウェート人 (女性)、名門Marafi家出身
	Dr.Dawoud Bahzad	研究・技術部長、研究者		クウェート人、共同事業KISR側責任者・窓口 (2015年度)
	Dr.A.Al-Hashem	研究者		クウェート人、前PRCセンタ長、NACE-Kuwait元代表 国際会議運営委員 (クウェート側実行責任者)
	Dr. Hamdy Shalaby	CAMTプログラムマネージャー、主任研究者	○	エジプト人、オハイオ州立大学学位取得、腐食事例解析、共同事業KISR側責任者(2012~2014年度)
	Dr. K.Ravindranath	研究者補		インド人、ムンバイ工科大院卒、元KNPC技術者、事例解析、応力腐食割れ担当
	Dr. Hanaa A A N.Al-Mazeedi	研究者補		クウェート人 (女性)、名門、電気化学担当、学位取得 (UMIST)
	Dr. Abdul M Akbar	研究者補		クウェート人、電気化学
	Eng. Wafa T.Riad	研究補助職上級		クウェート人 (女性)、事例解析担当
エネルギー・建築研究センター (EBRC)	Dr,Salem Alhajraf	EBRCセンタ長		クウェート人
	Dr.Osama Al-sayegh	研究・技術部長		クウェート人
	Eng.Suad Al-Bahar	CBMプログラムマネージャー	○	クウェート人 (女性) コンクリート関係KISR側責任者
	Dr. Adel Hussain	研究者		クウェート人、腐食・電気化学担当
	Dr. Jayasree Chakkamalayath	研究者補		インド人 (女性)
	Eng. Safa'a A Abdulsalaam	研究補助職上級		エジプト人 (女性)

2. 2 個別テーマ

2. 2. 1 電気化学ノイズ法の製油所開放型冷却水システムへの適用

クウェートの製油所で使用される用水は海水を RO 式海水淡水化装置で製造した水に種々のイオンを工業用水並みに添加して供給されている。開放型冷却水システムの機器である熱交換器の配管で腐食が発生する場合の原因は中東特有の気象条件である砂嵐の発生 (6月~9月) によるスラッジや塩化物イオンを含有する空気の巻き込みや、熱交換器での油漏れによる油除去剤添加など操業中のトラブルによる冷却水の汚染である。これらの水質変化の検出と操業条件との関連性の解明が維持管理上重要となる。これらの製油所の外乱因子による水質変化のモニタリングへの電気化学ノイズ法の適用性を検討するための取り組みを行った。

表 2-1.3 日本側推進体制（KISR PJ 研究会）メンバー

研究員		担当	所属組織
山本勝美	主任研究者	全般統括	腐食センター
原 修一	主任研究者補佐	同上補佐、教育	KISR 研究会
石川雄一	研究員	電気化学ノイズ法	腐食センター
川村文夫	研究員	海水腐食、水処理	KISR 研究会、栗田工業（株）
酒井潤一	研究員	教育	腐食センター、早稲田大学
柴崎敏和	研究員	加熱炉管余寿命予測	KISR 研究会、千代田化工建設（株）
小玉俊明	研究員	鉄筋コンクリート劣化	KISR 研究会
竹田宣典	研究員	海水練コンクリート	KISR 研究会、(株)大林組
橋爪修司	研究員	石油生産材料	KISR 研究会、エヌケーケーシームレス鋼管（株）
濱田秀則	研究員	海水練コンクリート	KISR 研究会、九州大学
細谷敬三	研究員	石油精製材料	KISR 研究会、日揮（株）
堀越直樹	研究員	鉄筋コンクリート劣化	KISR 研究会、オリエンタル白石（株）
宮坂松甫	研究員	海水腐食	腐食センター、(株)荏原製作所
宮澤正純	研究員	電気化学ノイズ法	腐食センター、三菱化学（株）
山路 徹	研究員	海水練コンクリート	KISR 研究会、港湾空港技術研究所
山田 眞	研究員	事務局	腐食防食学会

ステップとしては先ず KISR/PRC 担当研究者の日本での招へい研修、KISR/PRC 研究室における静止および流動状態による測定実習を行った後、製油所現地でのモニタリング試行へと進んだ。

(1) 測定法の教育

測定法の教育のため、下記項目について日本での招へい研修、PRC 実験室における実技指導を兼ねた基礎実験を様々な水質について、また流速を付加する影響について確認しながら KISR 担当研究者と腐食センター担当者（宮澤、石川研究員）が測定を行った。

- ・電気化学ノイズ法の測定法の原理説明
- ・電気化学ノイズ法の測定法の特徴の説明
- ・実験室での測定実習

(2) 腐食モニタリング装置の現地設置

実機試験場所は KNPC/MAB 製油所の No.32 冷却塔とし、2013.5 月に担当者宮澤研究員が現地を実地検分した。その結果に基づいてセンサーおよび測定装置、配管、ケーブルをすべて日本で手配し、KNPC に送付した。この際の通関手続きについては初めてのことであり事務局、担当研究員は相当な苦勞をした。また、2014.1 月のモニタリング装置設置においては入構手続き、設置工事等で現地 KNPC 技術者との間で粘り強い交渉が必要であった。

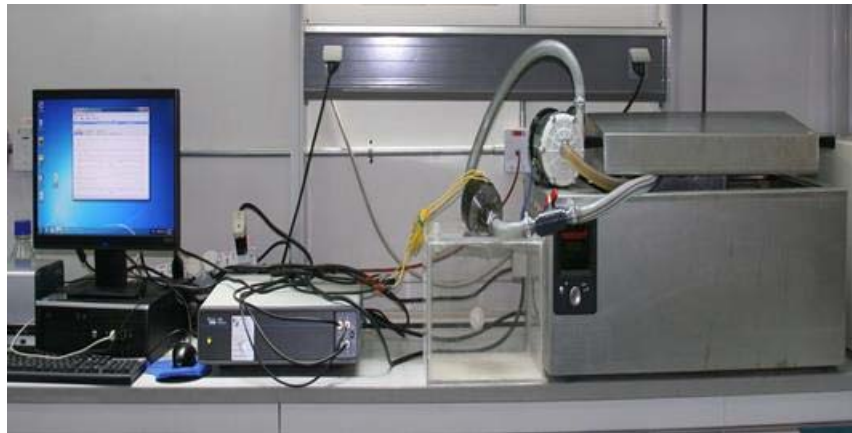


図 2-2.1-1 KISR/PRC 実験室における電気化学ノイズ測定装置

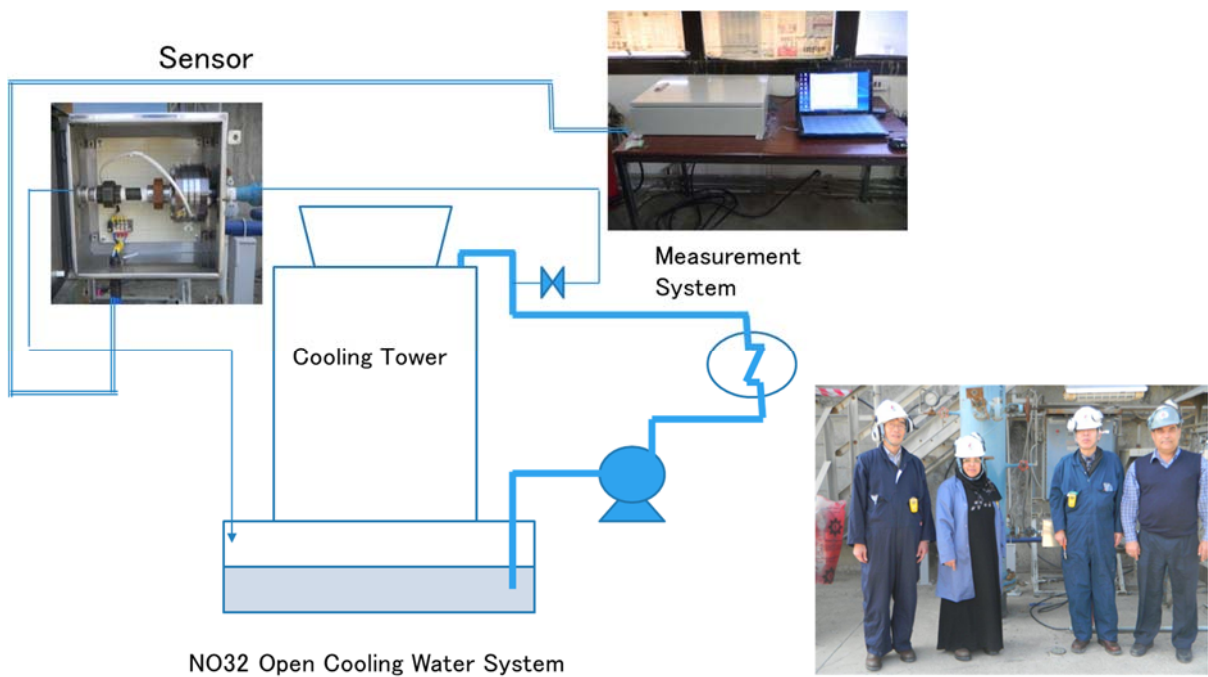


図 2-2.1-2 KNPC MAB 製油所における腐食モニタリング測定実験状況

(3) 電気化学ノイズ法の活動経過

- 2012. 5 プロジェクト開始 ノイズ法の概要 適用事例説明
- 2012. 9 ノイズ法講習 (日本 JFE テクノ)
- 2012. 12 静止測定装置(KISR)、ノイズ法説明(KOC)
- 2013. 5 循環測定装置測定 (KISR) KNPC/MAB 現地確認、ノイズ法説明 (KOC)
- 2013. 9 EUROCORR2013 発表 (ポルトガル)
- 2014. 1 MAB 測定装置設置(KNPC) ノイズ法説明(KOC)
- 2014. 5 MAB 測定装置確認(KNPC) ノイズ法説明(KOC)

2014. 8	MAB	測定装置確認(KNPC)	ノイズ法説明(KOC)
2014. 11	MAB	測定装置確認(KNPC)	ノイズ法説明(KOC)
2015. 1	MAB	測定装置確認(KNPC)	ノイズ法説明(KOC)
2015. 5	MAB	測定装置確認(KNPC)	ノイズ法説明(KOC)
2015. 9	EUROCORR2015	(オーストリア)	
2015. 10	最終報告		

(4) 成果

途中の困難は多かったが、KISR/PRC 担当研究者の2度にわたる EUROCORR での成果発表や研究実務遂行能力のレベルアップに寄与できたと考えられる。KNPC に対しても、従来のノイズ法によるモニタリングにおいてホワイトノイズにより腐食信号の検出がほとんどできなかったことに比べて、今回の現場モニタリング技術としての有効なノイズ法の適用性が実証されたことは大きなインパクトを与えた。

なお、KOC 油井フィールドで発生する高濃度塩分の地下水(Brackish water)、原油からの分離処理水(Effluent water)の腐食モニタリングについて、PRC 実験室でのラボ測定データの採取は行ったが、配管内面防食コーティング採用で十分とした KOC 側の認識により、実機適用研究には至らなかった。

(5) 学会発表

EUROCORR に発表した論文は以下の通りである。

1) EUROCORR2013 (発表：宮澤研究員)

H. Al-Mazeedi, M. Miyazawa, Y. Ishikawa, N. Tanoli, T. Mathew, L. Abraham, "Application of modified electrochemical noise technique in Kuwaiti open cooling water system", Proc. EUROCORR 2013, EFC (2013).

2) EUROCORR2015 (発表：Dr.H. Al-mazeedi)

H. Al-Mazeedi, M. Miyazawa, Y. Ishikawa, T. Mathew, L. Abraham, "Application of modified electrochemical noise technique in Kuwaiti open cooling water system, Part II. On-site real time monitoring", September 2015, EUROCORR2015.

2. 2. 2 高経年化プラント寿命延長のための健全性アセスメント

(1) 必要性

本テーマは、KNPC MAA Inspection & Technology 部門の強い要望を受けて、プラント寿命延長プログラムのモデルケースとして、KISR と腐食センターの共同事業の下に、日揮株がアセスメント業務を受託して、2014 年度に実施した。対象装置は KNPC MAA 製油所にある液化石油ガス製造装置 (35 年運転、静機器および配管が対象)である。KNPC の目的は既設の構造健全性面でのボトルネックを明確にして、今後更に 10 年間継続的かつ安全に運転するために、必要な補修および更新計画のベースとするというものであった。

(2) 実施内容

時期	ステップ
4 月	KNPC との事前調整のための電話会議
5 月	KNPC 担当者(KISR 担当者)とのキックオフミーティング
6 月	情報収集の継続
7 月～	情報の分析と日揮株内でのアセスメントの実施
11 月	<MAA 製油所にて-1> Initial Findings Workshop (IFW) <MAA 製油所にて-2> Breakout Session

<MAA 製油所にて-3> Integrity Assessment Workshop

<MAA 製油所にて-4> Final Presentation

12月-1月

MAA 製油所でのワークショップの再評価と最終報告書の作成

(3) アセスメント結果

全般的には、経験のあるエンジニアにより適切な検査・更新がされていたと評価され、アセスメントの結論としては、液化石油ガス装置は今後最低 10 年間主要機器の交換や材料選定の変更をしなくても運転可能であると判断された。しかし、いくつかの改善の必要性を提言した。すなわち材料面では、Dryer を含めその上流は湿潤 H₂S 環境となるので、硫化物割れや HIC に関する検査を継続的に行う必要がある。

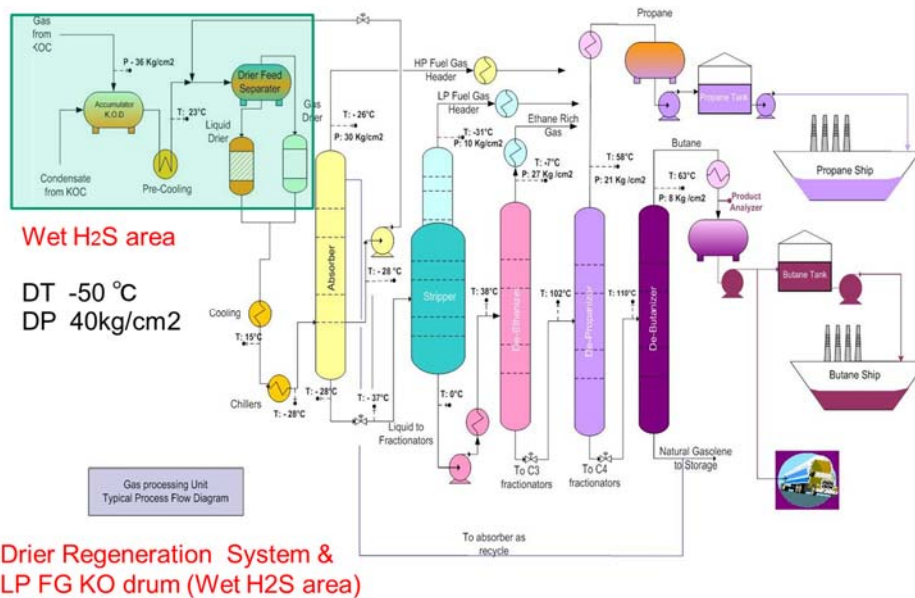


図 2-2.2-1 検討対象：液化ガス製造装置プロセスフロー



図 2-2.2-2 KNPC-日揮(赤の作業着)との合同検討チーム



図 2-2.2-3 KNPC MAA 製油所における報告会

また、保冷配管の保温材下腐食(CUI)対策として、保冷材の悪い部位の補修、運転中の凍結部や保冷材劣化の視点で目視検査を最低年1回実施することやマイターバンド+クランプという古い配管設計部位は、もれ等の検査を継続的に行う。検査面では、静機器の CUI 検査の実施、Gas & Liquid Driers の肉厚管理、検査データの管理の高度化が必要、経験のあるエンジニアと若手エンジニアの技術レベルに大きな差があり、若手エンジニアの育成・技術伝承が必要と指摘した。

(4) 成果

今回のプラント寿命延長プログラムのための設備の信頼性アセスメントは KNPC MAA 製油所設備管理部門トップが出席した報告会での熱気からも十分な満足を与えたと実感された。また、日本の若い技術者とクウェートの現場技術者とのコンタクトから、現状の維持管理技術レベルの把握ができ、今後の課題も浮かび上がった。

2. 2. 3 石油精製で長期使用された加熱炉管、触媒管の余寿命予測

(1) 必要性

クウェートの石油精製プラントにおいては、クリープ温度域で設計され、運転開始から通常的设计寿命である 10 万時間を大幅に超過し継続使用されている加熱炉管が多数存在する。本テーマは、KNPC からの強い要望により、共同事業唯一の事例解析ケースとして設定されたものである。具体的には KNPC において 20 万時間以上実機使用された加熱炉管をサンプリングし、余寿命予測技術の日本で確立されている基本的な方法に則り、実例で示すことを目的とした。従来この種のテーマは KISR からフィンランド(VTT)へ丸投げ発注していたと聞く。

(2) 活動内容

- ・クウェート技術者 3 名(KISR/PRC 研究者 1 名、KNPC 技術者 2 名)の日本招へい研修と KNPC から送付された長時間使用加熱炉管サンプルについて、日本でクリープ試験を行い余寿命予測を行った。
- ・KISR および KNPC の技術者に対し、物質材料研究機構(NIMS)つくば研究施設を訪問、見学するとともに、加熱炉管のクリープ余寿命評価技術の講義を日鉄住金テクノロジー(NSST)で実施した。同時に加熱炉管のクリープ余寿命評価技術で必要となる非破壊検査技術についても実習を行った。その結果、加熱炉管のクリープ余寿命予測技術に関する理解が深まった。



図 2-2.3 余寿命予測に関する日本での研修状況

- ・KNPCにより選定された減圧蒸留装置および水素化脱硫装置、各々のチャージヒーターにおいて長年使用された9Cr-1Mo鋼およびType 347ステンレス鋼製加熱炉管を受領材として入手した。余寿命予測を実施するため、材質調査、クリープ破断試験が実施された。なお、Type 347ステンレス鋼製加熱炉管についてはTTP法を、9Cr-1Mo鋼製加熱炉管についてはIso-stress法を適用した。その結果、両サンプル材ともクリープ損傷による顕著な寿命消費は確認されず、ほぼ新材と同程度の余寿命を保持している事が確認された。そのため、受領材と変わらない条件下で使用される限り、余寿命は十分、新材と同程度にある、と予測された。
- ・水素製造装置の触媒管として使用されるHPベースの耐熱遠心鑄造管の余寿命予測がKNPCにより要望された。しかし、KNPCの運転スケジュールから、対象としたHP-Mod管が採取できず、触媒管の余寿命予測の業務は出来なかった。

(3) 成果

KNPCでの結果報告において、今回の加熱炉管が25万時間ほどの長時間使用にも関わらず長寿命が予測されたことに対して、安心感と日本側の予測技術の高さへの信頼感を与えたと考えられる。ただし、KNPC製油所構内で実際の触媒管の視察の機会があったが、明らかに目視で異常高温部のある触媒管が1本、たまたま発見された。この際の現場技術者たちの事態の認識レベルなどから見ても、KISR,KNPC技術者のクリープ余寿命予測方法に関する金属学的理解度についてはまだ十分とは言えず、結果のみを評価しているレベルと推測する。

2. 2. 4 塩害を受けた鉄筋コンクリートの劣化診断技術

アラビア半島周辺国はアラビア湾海水の塩分濃縮や中東地域特有の環境に影響を受け、その土壌特にコンクリートの主要材料である骨材は、塩化物や硫酸塩などの有害物質、不純物を多く含む。クウェートでは、耐硫酸塩セメントの使用に加え、アラブ首長国連邦等からの粗骨材の輸入、細骨材の洗浄などによって、コンクリートの品質、耐久性を確保している。一般に、骨材の加工や洗浄には、海水を脱塩、淡水化したものが使用されている。このような環境にあるコンクリート構造物の耐久性や安全性には、構造物の現状把握のための点検、診断を伴う適切な維持管理技術が求められる。

(1) 目的および活動内容

- ・KISR技術者に対して鉄筋コンクリート部材の劣化診断技術システムを供与し、その診断方法を習得させる。(日本での招へい研修、EBRC実験室測定、実構造物測定)
- ・鉄筋コンクリート供試体をKISRが自ら作製し、その劣化状態の評価をKISR技術者自ら行えるようにする。
- ・コンクリート練混ぜ水に海水を使用した供試体を追加し、劣化診断、測定機器へのトラブル対応およびメンテナンスなど、劣化診断技術レベルの一層の向上を図る。



図 2-2.4-1 KISR 本部構内の実構造物測定状況

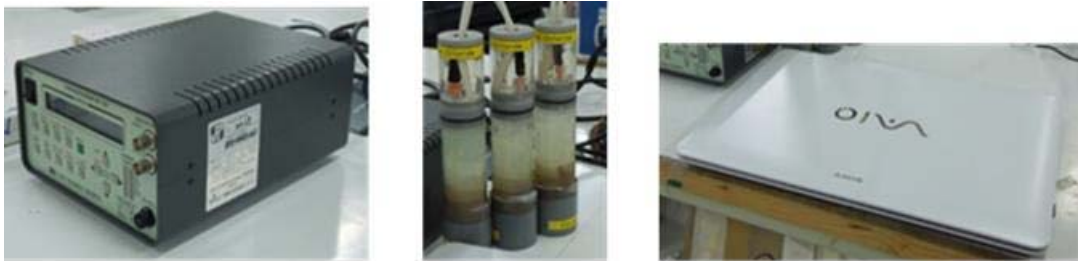


図 2-2.4-2 KISR に供与したモニタリング装置

(2) 成果

- ・劣化診断技術は、初期の意図通り KISR 技術者へ供与され、KISR 自身が作成した試験体(練り混ぜ水として水道水、食塩水、海水の 3 種を使用)により本活動期間中 500hr のモニタリングが実施され、本診断法の有効性についても示すことができた。
- ・石油関連施設など、供用中実構造物の劣化損傷状態は視察ができず、不明であった。
- ・劣化診断基準は、今後の KISR EBRC/CBM プログラムでの活動においても活用される予定である。

最後に、KISR EBRC/CBM チームはプログラスマネージャーの下に統制がよくとれ、日本側担当研究員の指示や依頼がほぼ着実に実行されていた点は特筆に値する。

2. 2. 5 海水利用と腐食問題

年間降水量が少なく、自然界からは淡水が得られないクウェートでは、原油生産・石油精製プロセスで、冷却水として海水あるいは海水から得た淡水を利用している。海水は元来塩濃度が高く腐食性が高いが、アラビア湾の海水は特に塩濃度が高く、水温も年間を通じて約 40℃と高いので、とりわけ腐食の懸念が増すと考えられる。また、自然海水中には多種類の微生物が生息していると言われており、熱交換器、ポンプ、バルブ等への微生物付着による障害、微生物腐食、それらの対策として行われる塩素注入の功罪などにも注意を払わなければいけない。

(1) 活動内容

石油精製の過程での海水利用に関し、腐食や生物・スケール等の付着障害にかかわる課題の解決のために、共同事業の研究テーマを探索し、平成 25 年度に「海水熱交換器銅合金製チューブ

の腐食モニタリング技術の確立」を KISR PRC と同意のもとにテーマ設定した。腐食モニタリング技術として「分極抵抗」と「自然電位」の測定に基づく皮膜安定性の測定技術を選択し、測定装置の製作と KISR への供与、KISR 研究員の日本での研修などを実施した。平成 26 年度は KNPC の現場技術者との討議・ヒアリングの結果、海水熱交換器銅合金チューブの腐食や付着問題は大きな課題となっていることが再確認された。また、クウェートではキュプロニッケルが主要材料で、一部チタンも使用中であることや鉄イオン注入を鉄ブロックの設置によるものが大半であることなどの情報も入手した。

(2) 計画中止

しかし、その後、平成 27 年度の実行段階になって KNPC から、現場試験前に KISR-PRC の実験室で有効性を確認すべきとの要求があった。腐食センターはその要求に答えるための試験計画を即座に立案したが、結局、平成 27 年度、KISR-PRC との会議の中で、KISR-PRC 側責任者である Dr. Dawoud Bahzad から「KNPC から研究遂行に必要な使用中の海水熱交換器チューブのサンプルを入手することが困難であるので、腐食センター側から提出されたテーマ提案は受け入れることができない」旨、回答があった。腐食センター側はこの最終回答を止む無く受け入れることに同意した。本テーマの中断理由は、KNPC の現場技術者と技術管理部(Research & Technology Group)間の意思疎通や認識の相違、KISR PRC 側の研究者の研究能力の弱さなどの要因も考えられた。



図 2-2.5 KISR に供与した海水熱交換器銅合金管の分極抵抗法モニタリング装置

2. 2. 6 安定化ステンレス鋼の硫化水素化環境下における塩化物 SCC

水素化脱硫装置、水素化分解装置では、400～450℃の高温において油中の S 分は触媒を使い水素と反応させ H₂S (硫化水素) として除去する設備である。今後、原油中の S 量が増加すると、高温および湿潤環境においても腐食性を持つ H₂S 濃度が上昇して、腐食性も増大する。また、原油中の水および塩化物は、製油所の脱塩装置で相当量が除去される。しかし、ごく一部の塩化物成分が水素化脱硫装置、水素化分解装置にかけられる重質油成分中に残留する。従って、湿潤環境においては塩化物に由来する腐食性も増大すると考えられる。

このような背景から、KNPC の各製油所では湿潤環境における H₂S および塩化物の関係する腐食損傷が、水素化脱硫装置、水素化分解装置の高温部で使われる安定化ステンレス鋼において装置停止時に数多く経験されており、今後もますます懸念される。

(1) 本テーマの目的

KISR/PRC が 2011 年 6 月より 3 年計画で開始していた (2011 年は研究計画のみ) 本研究テーマ「安定化ステンレス鋼の硫化水素環境下での塩化物応力腐食割れ挙動の解明 (Synergistic Effect of Hydrogen Sulphide and Chloride on Stress Corrosion Cracking of Stabilized Austenitic Stainless Steel)」は、KNPC の依頼により本共同事業開始前から研究が進みつつあった。本共同事業においては KISR/PRC の研究遂行に対して、腐食センターの専門家による日本の石油精製装置における類似の経験を基にした適切な助言により、KNPC に効果的な対策を与える研究成果を得るとともに、各種学会での成果発表など通して KISR/PRC 研究者の石油精製設備に対する知見と専門性向上を図ることを目的とした。



図 2-2.6 KISR/PRC が設置した SSRT 装置

(2) 成果

一連の研究、特に SSRT 試験の結果から、鋭敏化熱処理した Type321 は NaCl/硫化物環境において硫化物の影響で塩化物応力腐食割れが促進され、割れ形態として粒界割れが起きていることが確認された。ただし、本研究テーマは、KNPC のスポンサー研究であり 2014 年中旬に KNPC への報告書が計画通り提出された。しかし、本研究は、JCCP 本共同事業開始前から研究が進んでいた KNPC のスポンサー研究のため、報告書の JCCP への開示許可が KNPC より得られなかった。そのため、Dr. K. Ravindranath 作成の SSRT 試験結果概要 Activity Summary (Confidential)を受領したのみであった。本研究テーマは、直接的に製油所の環境を完全に模擬した実験条件ではないが、塩化物応力腐食割れや塩化物による孔食を硫化物が共存すると、孔食や応力腐食割れを促進するという成果が得られた。H₂S の影響を見るのに、Na₂S₂O₃ という試薬を使う方法は、本共同事業の中から辻川先生によるアドバイスを反映したもので、それが短期間での実験を進めることを可能にして、成果に結びついたと言える。その結果、非鋭敏化オーステナイトステンレス鋼が、3.5%NaCl+0.02mol/l Na₂S₂O₃ (pH2)溶液中において、粒界応力腐食割れ (IGSCC) 感受性を示すという新しい知見が得られたと考える。

また、成果の一部は腐食防食学会第 60 回材料と環境討論会で発表を行い、日本国内の研究者と発表者の Dr. K. Ravindranath との交流と議論により、KISR の研究者の技術力や知見の向上につながった。

2. 2. 7 クウェート技術者・研究者の教育

本共同事業では個別の研究テーマと並んで重要な柱の一つが KISR 研究者およびクウェート国内石油関連設備で働く技術者(KNPC, KOC)の腐食防食に関する教育研修によるレベルアップ、育成である。このため、彼らのニーズに合わせ、本共同事業の腐食防食学会腐食センター研究員全員がそれぞれ日本における豊富な経験と知識を活用して指導に当たる教育研修コースを設定、実施した。表 2-2.7-1 に 1 日教育研修コースのカリキュラムを、表 2-2.7-2 に教育内容および参加者を示す。

表 2-2.7-1 1 日教育のカリキュラム

Program contents of the education

Title Name : *Safety & Reliability of Aged Plants in Oil Industry*

Duration : 9:00 -14:00 (Total;4 hours) Place : KISR PRC

Textbook : “Q & A on Corrosion of Metals in Oil & Gas and Petrochemical Industries”

Number of Students : 10 – 15, (KNPC, KOC and KISR)

Instructors : Members of JSCE, Corrosion Center

Menu	Contents	Time	Notes
Menu A	Lecture on a focused theme	(1hr.)	Lecture by Corrosion Center Members
Menu B	Case-Study of Failure Analysis by Group*	(2 hrs)	*3 Themes corresponded to 3 Groups
Menu C	Teaching with around 10 themes picked up from the Text Book*	(1 hr.)	*Q & A on Corrosion of Metals in Oil & Gas and Petrochemical Industries

表 2-2.7-2 教育内容まとめ

Date	Contents for KOC & KISR	Contents for KNPC & KISR	KOC	KNPC	KISR
2013 May	Lecture; "Overview of Material Problem" (Dr. Yamamoto) Group discussion themes; 1)Cracking in type304 2)Crack on carbon steel in amine plant 3)Fire accident at charge heater in vacuum gas oil desulfurization plant	Lecture; "Overview of Material Problem" (Dr.Yamamoto) Group discussion themes; 1)Cracking in type304 2)Crack on carbon steel in amine plant 3)Fire accident at charge heater in vacuum gas oil desulfurization plant	13	13	4
2013 Nov.	Lecture; "Concept of corrosion in oil industry(OCTG & Refinery)" (Prf. Sakai) Group discussion themes; 1) Failure of 17-4PH travel pin 2) Failure of N80 tubing pipe 3) Corrosion of Stainless steel in natural sea water	Lecture; "Concept of corrosion in oil industry(OCTG & Refinery)" (Prof.Sakai) Group discussion themes; 1) Pipe failure in crude oil distillation tower 2) Case study on NH4HS corrosion 3) Corrosion of Stainless steel in natural sea water	16	9	5
2014 Nov.	Lecture; "Concept of corrosion and cracking in oil and gas industry (Dr. Hashizume) Group discussion themes; 1) Failure of N80 tubing pipe 2) Dissimilar welding in HDS plant 3) Corrosion in pump part in natural sea water	Lecture; "Concept of corrosion in oil industry(OCTG & Refinery)" (Prof.Sakai) Group discussion themes; 1) Dissimilar welding in HDS plant 2) Leak trouble in on-site facility of refinery(CUI) 3) Corrosion in pump part in natural sea water	4	13	6



図 2-2.7 講義を聞くクウェートの技術者(KOC)

このほかにも共同事業テーマごとに専門性を重視して設定した日本での招へい研修(2.2各項にそれぞれ示す)を多く実施した。

対象者が腐食に関する技術者であり限られており、リピーターが多いと予測されたため、通算3回の一泊二日教育研修を KISR/PRC 研究者を含む KOC、KNPC それぞれに対して適切なテーマを選定し、内容が重複しないよう配慮しながら実施した。その結果、クウェート技術者の水準と課題は以下のように整理できた。

1) KOC 技術者は全面腐食の対応がほとんどで、普通鋼とインヒビター対策で済んできた。従って R&T(Research & Technology)部門の中心的技術者であってもサワー(H₂S)環境対応材料選定について、HIC や SSC トラブルはまだ限定的にしか発生していないためか、H₂S 割れに関する理解はまだ不十分である。ただ材料の硬度の重要性などは理解が深まり、進歩の跡も見受けられた。

2) KNPC 製油所の現場腐食技術者の中には、日本側が用意した腐食防食学会テキストの質問に、即座にほぼ正答できる程度の基礎知識があり優秀な技術者(大半がエジプト、インド出身のエンジニアで30~40歳)が要所要所の製油所設備管理部門には存在していることが分かった。彼ら基幹技術者に対する更なるレベルアップ教育の内容については実際に発生した事例解析であろうと思われるが、現場情報開示の制約があり今後の課題と考えられる。

2.4 石油生産・精製設備のリスク管理に関する国際会議

(1) 目的

Kuwait-Japan Joint International Conference —Risk Management for Integrity of Oil Production and Refining Facilities—と銘打った日本・クウェート国際会議を開催した。メインテーマはリスク管理であり、Kuwait においても顕在化し、世界的な課題となっている高経年化プラントの安心安全に関する問題への対応策をリスク管理という観点から考えるものである。本国際会議の目的は、第一に、4年間腐食センターの進めてきた KISR との JCCP「腐食評価と腐食防食プログラムに関する技術共同事業(クウェート)」の集大成の一つとしてその成果を問うことであり、第二にリスク管理分野でもっとも進んでいる NACE International 等から世界トップクラスの研究者を招へいして、Kuwait および周辺中東諸国の技術者たちと認識と議論を深めることにあった。

(2) 企画・運営

本国際会議は日本側山本主任研究者と Kuwait 側 Al-Hashem 博士を中心に2年以上の長きにわたり企画立案を経て実現に至ったものである。組織委員会は米国から Dr. Ronald Latanision、日本側から山本主任(腐食防食学会腐食センター)、酒井(早稲田大)、野林(JCCP)、クウェート側から Dr.A. Al-Hashem, Dr.H. Shalaby/(KISR)/Mr. A. Al-Shamari(NACE-Kuwait)で組織された。

(3) 来賓

開会挨拶は PIC CEO(KPC CEO 代理)、足木 孝(在クウェート大使)、平岡 JCCP 常務理事、Dr. Meena Marafi (KISR 副総裁,PRC センター長)、NACE-Kuwait Section 代表により行われた。

(4) 講演者

講演者の構成は、中東地域:9名(Kuwait:6, Saudi:1, UAE:2)、日本(腐食センター):7名、欧州:3名(フィンランド:1, UK:1,デンマーク:1)、北アメリカ:5名(アメリカ:4,カナダ:1)で、合計:24名(招待講演者5名含む)であった。

(5) 閉会あいさつ

Dr.Peter Andresen (US)、Prof.Suocas (Finland)、石川雄一(日本、腐食センター長)、Dr.Hashem(KISR)、Dr.Shalaby(KISR)の順で閉会の挨拶があった。

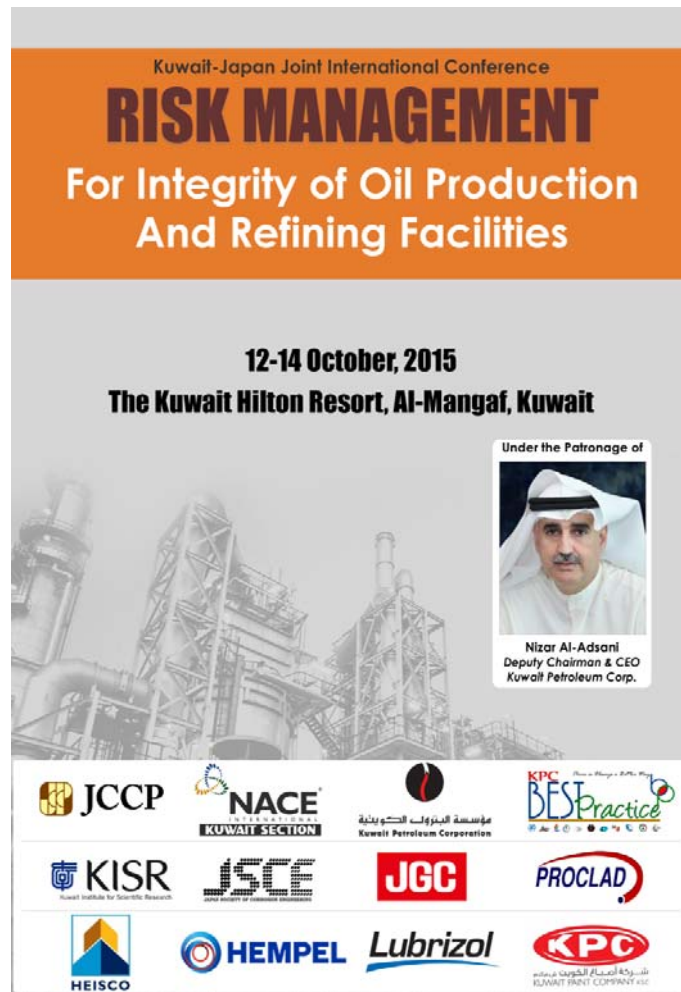


図 2-4.1 国際会議のパンフレット表紙



図 2-4.2 クウェート側 VIP および国際会議招待講演者



図 2-4.3 腐食センターKISR PJ 研究会メンバー

(6) 日本からの発表内容

発表者と発表テーマを示す。その他全体の講演内容は Proceedings⁴⁾を参照されたい。

招待講演者：

酒井潤一（早稲田大学）

Recent Damaging of Assets/Infrastructure and its Cause/Key Analysis in Japan

一般講演者：

細谷敬三（日揮）

Mechanical Integrity Assessment of Aged Plants (MAA of KNPC)

宮澤正純（三菱化学）

Maintenance Management of Open Cooling Water System in a Kuwait Refinery using EN Technique

柴崎敏和（千代田化工建設）

Risk Assessment of Remaining Life Estimation for Furnace Tubes

宮坂松甫（荏原製作所）

Risk Management by Numerical Analysis of Seawater Corrosion and Cathodic Protection

原 修一（腐食センター）

Risk Management for Preventing CUI

橋爪修司（エヌケーケーシームレス鋼管）

Risk Management to avoid Material Failures in Sour Service

3. 技術支援の1事例としての今回のクウェートプロジェクト

3. 1 期待と反省

クウェート国の石油関連施設の防食技術のレベル向上を図るべく、国立の研究機関 KISR を窓口として、KOC や KNPC の現場で求められているさまざまなタイムリーな課題をテーマにし、

その解決に助言しながら、同時に KISR 担当研究員の技術レベルの向上を意図し、腐食センター KISR PJ 研究会メンバー各員はそれぞれに懸命に努力した。2章で個別に述べたように、一定の成果があったといえよう。しかし、はじめに述べたような KISR が中東で自他ともに認められる技術レベルに達するにはまだまだ道は遠い。本プロジェクトを通じて得られた研究会メンバーのクウェートの KISR、KNPC、KOC 研究者・技術者に対する率直な実感を 3. 2 に記した。

3. 2 クウェートの技術者・研究者の特性について

(1) KISR

管理の中核はクウェート人が握り、それをサポート・実行する立場にエジプト人やインド人が配置されていることがクウェート組織の一般的特徴であり、クウェート社会特有の階層構造といえる。トップには女性が珍しくないが、その中にはクウェート建国以来の名門の出身者を含む。厳しい言い方をすれば、特に PRC では、一部の例外を除き、ほとんどの研究者は製油所現場やプロセスを十分に理解しておらず、また自ら足を運んで現場を見、技術者の声を聞くことも少なく、KNPC の研究部門(Research & Technology Division)を通しての限定的情報に頼っているケースが多い。日本と違って、現場情報を重要視する姿勢はよく見えない。彼らが行った事例解析の報告書を数件見たが、視点や考察は的を外れ、試験項目を機械的に並べた試験報告書に過ぎず、結果として現場に有益とはとても思えなかった。また、冒頭に述べたように、KISR 自らが実行することにより研鑽を図る目標としたが、本来アドバイザーたる日本側がやって見せねば動かない場面は枚挙にいとまがなかった。一方、KISR 内部では、研究成果のユーザー側評価よりも国際会議や学会発表のファーストオーサーになること、欧米での学位取得などの対外評価が高査定となる。現場に張り付いて問題解決を図るような地道な研究者の存在はほとんど望み得ない。これが KNPC や KOC が KISR 抜きに直接日本も含めて海外の企業・研究機関とコンタクトするといわれる背景である、と推測している。

(2) KNPC、KOC

KNPC、KOC 組織においても経営管理や製油所の中核すなわち管理職はクウェート人が握り、それをサポート・実行する実務・専門技術者に経験豊かなエジプト人やインド人が配置されており、博士号や修士号の学位を有する技術者も珍しくない。彼らは最高位でも Senior Specialist というスタッフ職に過ぎない。したがって、有能であっても職務権限は低い。クウェート人管理職 Team Leader(Manager)の業務指示は絶対である。部下は常に上司を見ながらの待ち姿勢になりがちである。技術打ち合わせに出席した技術者が実務技術者である場合、検討結果の実施に至るためには相当の調整期間がかかる。

3. 3 技術支援の在り方と教訓

(1) 社会環境

技術支援はその国の国情、組織の風土に合わせて行うべきは当然ながら、実際には事前に十分な情報があるとは限らない。活動しながら是正し、粘り強く対応していかざるを得ない。クウェートにおいてもまさにその通りであった。3. 2 に記したようにクウェートは特有の社会構造、仕事の進め方がある。“クウェート時間”と我々が何度も口にしたように日本とは時間の流れが、考えられないほど遅い。特に、2. 2. 5 に示したような極めて苦い教訓もある。

(2) 情報の壁

情報の壁も厚い。KISR と KOC、KNPC とはテーマごとに秘密保持契約で結ばれている。共同事業でありながら、窓口機関である KISR の官僚的性癖、情報収集能力の課題もあり、当方へのデータの開示は極めて不十分であった。典型例が 2. 2. 6 のテーマの場合で、最後まで入手に努力したが KISR 担当研究者の最終研究レポートは入手できなかった。クウェートで質問や調査

を依頼しても「後でメールする」とよく言われる。すぐに返事が来ることはあまり期待しないほうが良い。また、KNPC等の現場で起きた事故事例解析は、クウェート技術者能力向上に対する最も有効で具体的な課題テーマになることを期待し、PRC側トップに要請したが、秘密保持制約のために、結果として共同事業テーマへの採用はなかった。テーマ2.2.2のような現場に入り込んだケースは、データ入手に成功した例外事例である。KISRを通じての現場視察についても、初めはKISRトップの手配によるKOCの油田における原油処理施設(Gathering Center)視察やKNPC製油所内視察も可能であったが、セキュリティ部門の障壁は厚く、後半は全く入構許可が下りなかった。

(3) KOC、KNPC 現場技術者層への信頼

しかし、個人的にはエジプト人やインド人シニア技術者の誠実な仕事ぶり、受講時の姿勢などはクウェート石油施設の安全の根幹を支えていることが実感され、また人的交流においても本プロジェクト活動のやる気を支えてくれたと思われる。

クウェート豆知識

- 一般的勤務時間帯：7:00-14:30 金・土曜が休日
- 宗教：ラマダン（断食月）：夏（毎年日程変わる）酒類は禁止（厳格）
- 気候：雨がほとんど降らない。日中は暑いが夜冷え込む（気温日較差大）。夏に砂嵐注意。
- 言語：元英国の統治下にあったため、アラビア語以外に英語が一般的。
- 貨幣単位 1KD=1000flis=約 400 円(円安傾向 117 円/\$レベルで)
- ガソリン価格：50flis=20 円/L、タクシー代：7KD=2100 円(空港からロターナホテル 70km)
- 道路：片側3-6車線、速度 80km/hr、信号式交差点はほとんどなし、すべてロータリー方式
- コンセント：BFタイプ（三又）：英国式
- 戦禍：イラクのクウェート侵攻：1990年、引き続き湾岸戦争：1991-1992年
- クウェート国民は上下階級差、給与差が大きいものの、全般的に所得水準は高く、生活は楽（教育、医療費、電力料金ほぼ0）治安良好。
- 政治的にはサバーハ王家を支持する派は反対派と対立し、国会解散、デモ騒ぎが発生したこともあるが、基本的に平穏。
- 海外労働者の流入：技術者はインド、エジプト人が大きな比重を占め、彼らの中のエキスパートがプラントの根幹を支えている。東南アジアからの出稼ぎ労働者も多く、いわゆる単純労働に就く。
- 植物・植木：ほとんど雨が降らないため空気は乾燥しており、すべて根本は灌漑用水ホースが配置されている。

4. 結言

本稿は堅苦しい表現をできるだけ避け、腐食センター初の海外技術協力プロジェクト活動の努力の足跡と率直な実感を書き記した。これが今後のセンター活動の参考とならんことを祈念する。

参考文献

- 1) 腐食センターニュース No.061 (2012.11月)
- 2) JCCP 国際石油・ガス協力機関；産油国等石油関連産業基盤整備・国際共同事業「腐食評価と腐食防食プログラムに関する技術共同事業（クウェート国）」成果報告書（平成24年度～平成27年度）
- 3) 材料と環境 2016 講演集 B107～B112、2016.5(2016)、つくば
- 4) Proceedings of Abstracts & Presentations of Kuwait-Japan Joint International Conference, "Risk Management for Integrity of Oil Production and Refining Facilities", 12-14th Oct.2015, Kuwait Hilton Resort, Al-Mangaf, Kuwait