

参考資料

SCAP

OECD/NEA SCC and Cable Ageing Project
(OECD/NEA高経年化対策プロジェクト)



OECD/NEA SCAP担当 (2006年4月-2010年6月)
福井県 原子力安全対策課 (2010年7月-)

山本晃弘

(注) オリジナルの資料は英語のため、仮訳としております。正式な和訳版とはなっていません。

プロジェクト発足の経緯

実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について
(平成17年8月31日)

技術情報基盤の整備(報告書記載内容抜粋)

③ 技術情報基盤の国際的な展開

我が国をはじめ国際的にも増加が見込まれる長期間供用しているプラントを的確に管理していくためには、各国が高経年化技術評価や保守管理技術等に係る国際的な情報交換を積極的に行い、これら情報の集積化・共有化を図り、それぞれの国の安全規制に効果的に反映し、活用していくことが必要である。

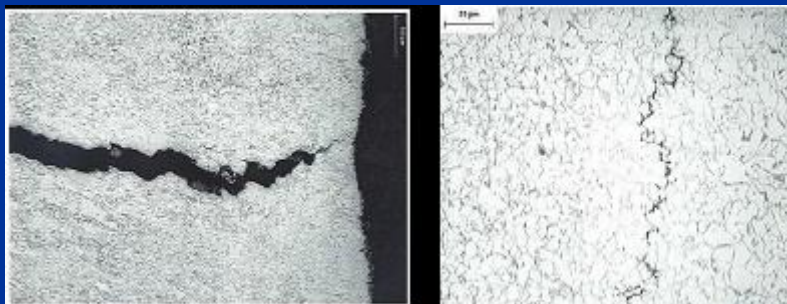
このため我が国は、高経年化対策の先進国として、IAEA、OECD/NEA等の国際機関を通じ、高経年化対策に係るガイドラインの整備や研究等に一貫性・継続性をもって参加するとともに、材料劣化等に関する国際会議等にも計画的・戦略的に参加するなど、国際協力や国際的な技術情報交流を積極的に展開していく必要がある。

この際、高経年化対策に必要とされる技術情報の国際的な集積化・共有化を図るため、原子力の安全研究及び安全規制に関する国際協力において実績があり、我が国と同様に軽水炉を保有する国々が参加し、長期間供用しているプラントの経年劣化事象等についての知見を多く得ることができるOECD/NEAを通じて、高経年化対策に係る協力事業を我が国が中心となって積極的に展開していくこととする。

今後、国際的な技術情報交流等が必要な分野としては、中性子照射脆化や応力腐食割れ等の材料劣化に関する国際会議及び高経年化対策に係るガイドラインや技術資料の策定等、多岐にわたるため、国際協力についても民間の参加を求めるなど、産学官の連携を図っていくことが重要である。

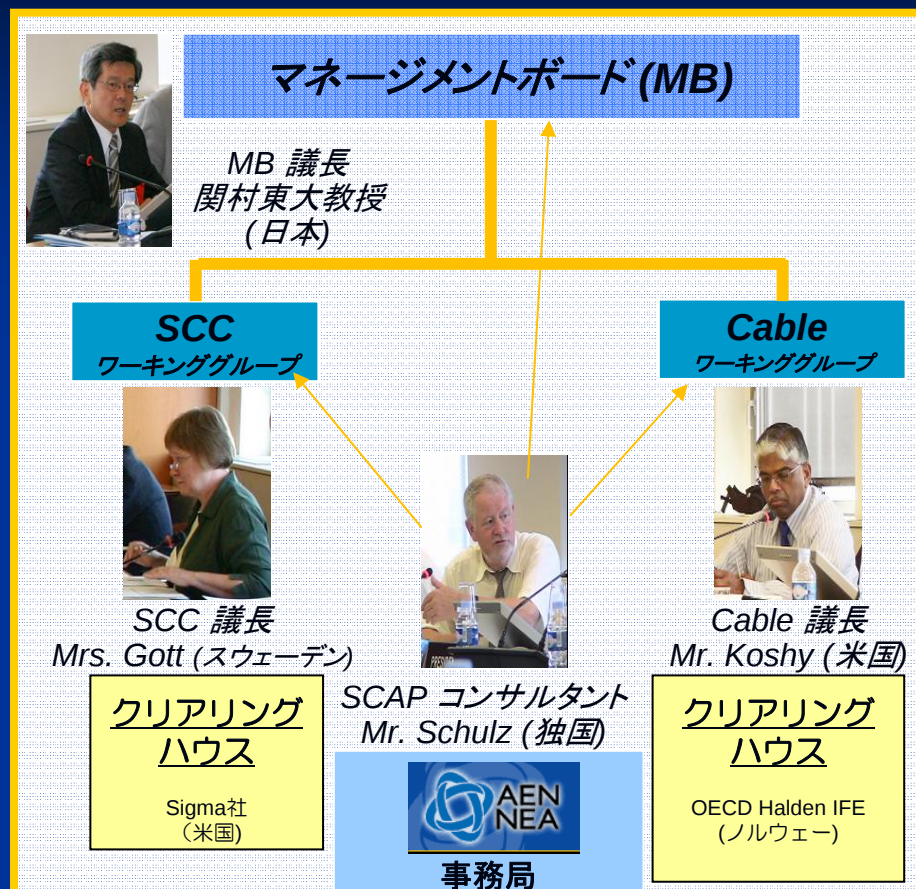
SCAP の目的

1. OECD/NEA加盟国の協力を得て、応力腐食割れ(SCC)及びケーブルの経年劣化現象に関するデータベースを構築する。
2. SCC及びケーブル劣化の主要な経年劣化事象に関して、体系的に情報・データを収集・評価し、知識ベースを構築する。
3. データの評価を行い、規制当局や事業者が経年劣化管理を行う際に手助けとなる推奨経年劣化管理プログラムを明確にする。



SCAP 参加国

国	MB	SCC	Cable
アルジェンチン			○
ベルギー	○		○
カナダ	○	○	○
チェコ	○	○	○
フィンランド	○	○	○
仏国	○	○	○
独国	○	○	○
韓国	○	○	○
日本	○	○	○
メキシコ	○	○	
ノルウェー	○		○
スロバキア	○	○	○
スペイン	○	○	○
スウェーデン	○	○	○
スイス		○	
米国	○	○	○
ウクライナ			○
IAEA	○	○	○
EC	○	○	



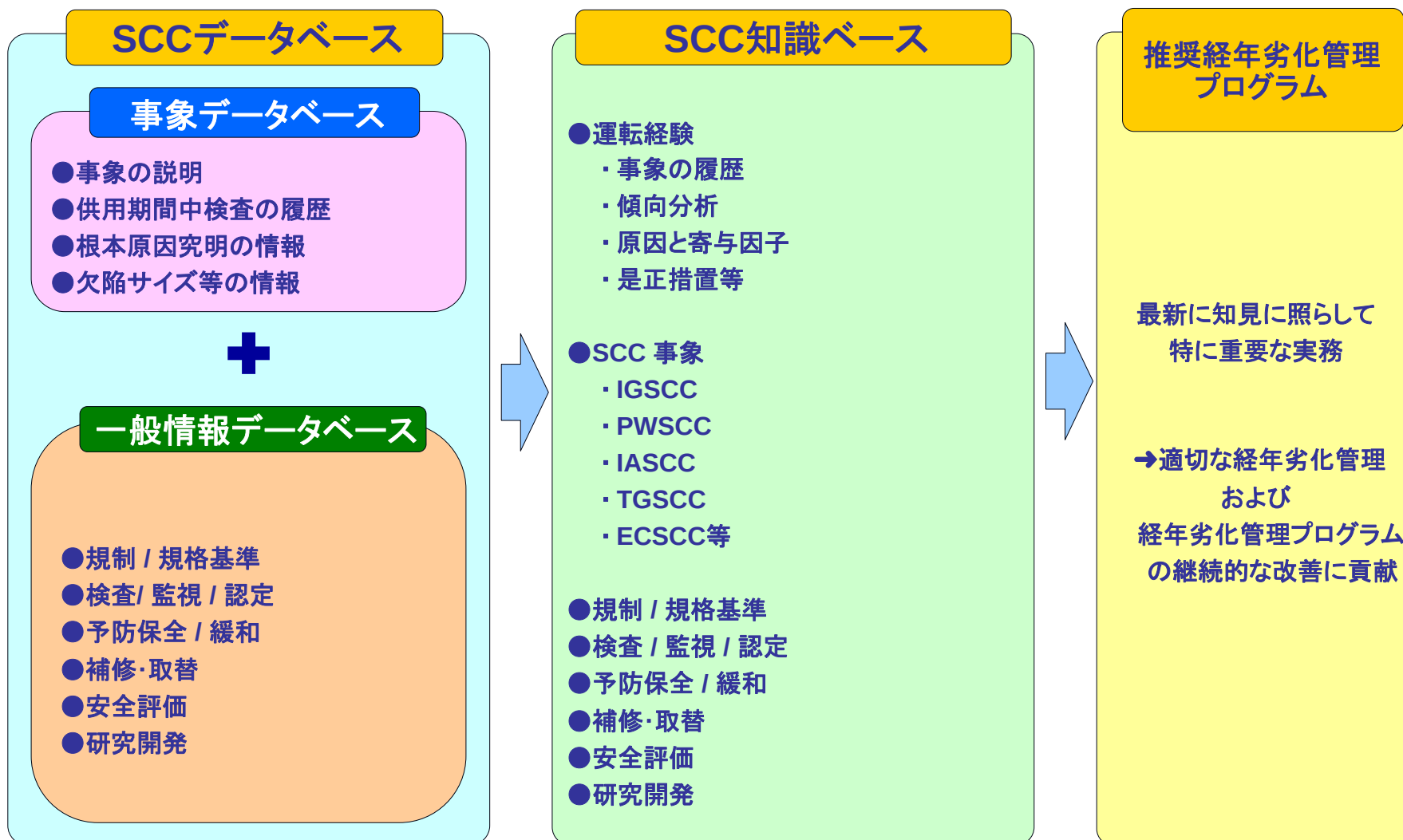
- 参加国:17カ国
- オブザーバー:
国際原子力機関(IAEA)、欧州委員会(EC)

SCC ワーキンググループ

SCC データベースのスコープ

- SCCデータベースは、参加国の原子力発電所の静的機器（容器・配管等）で発生した劣化や損傷を対象とする。
- SCCデータベースのスコープは、ASMEのクラス1及びクラス2の耐圧バウンダリーを構成する機器、炉内構造物及び運転に著しい影響を及ぼすその他の機器を含む。ただし、蒸気発生器伝熱管は除く。
- SCCデータベースで対象とする経年劣化事象：
 - オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル基合金の粒界型応力腐食割れ (IGSCC) …約1000件
 - 一次冷却材応力腐食割れ (PWSCC) …約300件
 - 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) …約10件
 - 粒内型応力腐食割れ (TGSCC) …約100件
 - 外面塩化物応力腐食割れ (ECSCC) …約90件
 - ひずみ誘起型応力腐食割れ (SICC) …約30件
 - 腐食疲労/環境助長型疲労 …（現在データ入力なし）

知識ベースの構成



SCCワーキンググループの 推奨経年劣化管理プログラムの項目

- a) 検査 / 監視 / 認定
- b) 予防保全 / 緩和
- c) 補修・取替
- d) 安全評価
- e) 研究開発

推奨経年劣化管理プログラム (例)

(予防保全 / 緩和)

- SCC発生防止、また(SCCが発生した場合の)亀裂進展の緩和、さらには、適切な検査、欠陥評価、予防保全、補修および取替えのために、保全プロセスを体系化することが必要

(保全プログラムの例)

- 検査により、SCCが発生していることが確認された場合、安全評価を行う。
- 検査により、SCCが発生していないと確認された場合においても、予防保全策が必要と判断された場合、その機器の材料加工(表面処理など)、部分取替え、全取替えなどを行う

(バッフルフォーマボルトに関する記載)

(ボルト首下部への)応力集中を低くするために、首下形状をなだらかな形状(パラボリック形状)としたものを導入することを勧める。また、シャンク部を長くすることも有効である。

推奨経年劣化管理プログラム (例)

(予防保全 / 緩和)

- 3つの要因がSCCでは重要であり、SCCはこれらの要因のうち1つを排除して回避することができる。しかしながら、いくつかのSCCに寄与するパラメータを緩和することが、緩和の効果を改善するために推奨される。
- 原子力発電所の長期間運転に関して、過去の経験から得られた教訓に基づいて、先行的な経年劣化管理プログラムを維持することが重要である。
 - 過去の経験が新たな規制、規格基準に定期的に組み込まれること及び、特に、国際的に情報共有されることが重要である。
 - 新規プラントの経年劣化に関して、SCC対策は、プラントの運転初期から保全プログラムの一部に組み込まれるべきである。

SCC 事象データベースでの PWSCCに関する補修、取替、予防保全技術のまとめ

適用された技術 機器	原子炉圧力容器 (RPV)				炉内 構造物	加圧器		蒸気発生器 (SG)			
	管台 RPV	上蓋	管台 炉底部		ス プ リ ット ピ ン	管台	ス リ ー タ ー ブ ー	SG 取替	管台 出入口	ヘッド チャンネル 管台	
取替 (Replacement)		F J S U			F J K S U	F	F U	F G J K S U		K S U	
スプールピース取替 (Spool piece replacement)	U					J			J		
除去、研削、グラインド (Cutting, drilling, grinding)	J S U					U			J		
テンパービード溶接 (Temper bead welding)	J U		J U			F J				S U	
機械的応力改善 (MSIP)						U					
Overlay clad (external, full structural)	U	U				U					
肉盛(内面) Overlay clad (internal)		U				U					
肉盛(内面) Inlay clad (internal)	J S								J		
ハーフノズル補修 (Half nozzle repair)			U								
シール溶接 (Seal welding)		J U									
ショットピーニング (Shot peening)									J	U	
ウォータージェットピーニング (Water jet peening)	J		J								
レーザー照射応力改善 (Laser stress improvement)						J					

SCCメカニズムと時系列

SCC

ECSCC, IGSCC

Situation understood

- Measures well established
- Maintain awareness to ensure LTO

PWSCC

Current issue

- Inspection scope and intervals need to be reviewed concurrent with ongoing experience
- Measures not yet fully identified, focused attention needed (R&D)

IASCC

Emerging issue

- R&D support needed
- Impacts of power uprate and LTO

ケーブルワーキンググループ

ケーブルデータベースのスコープ

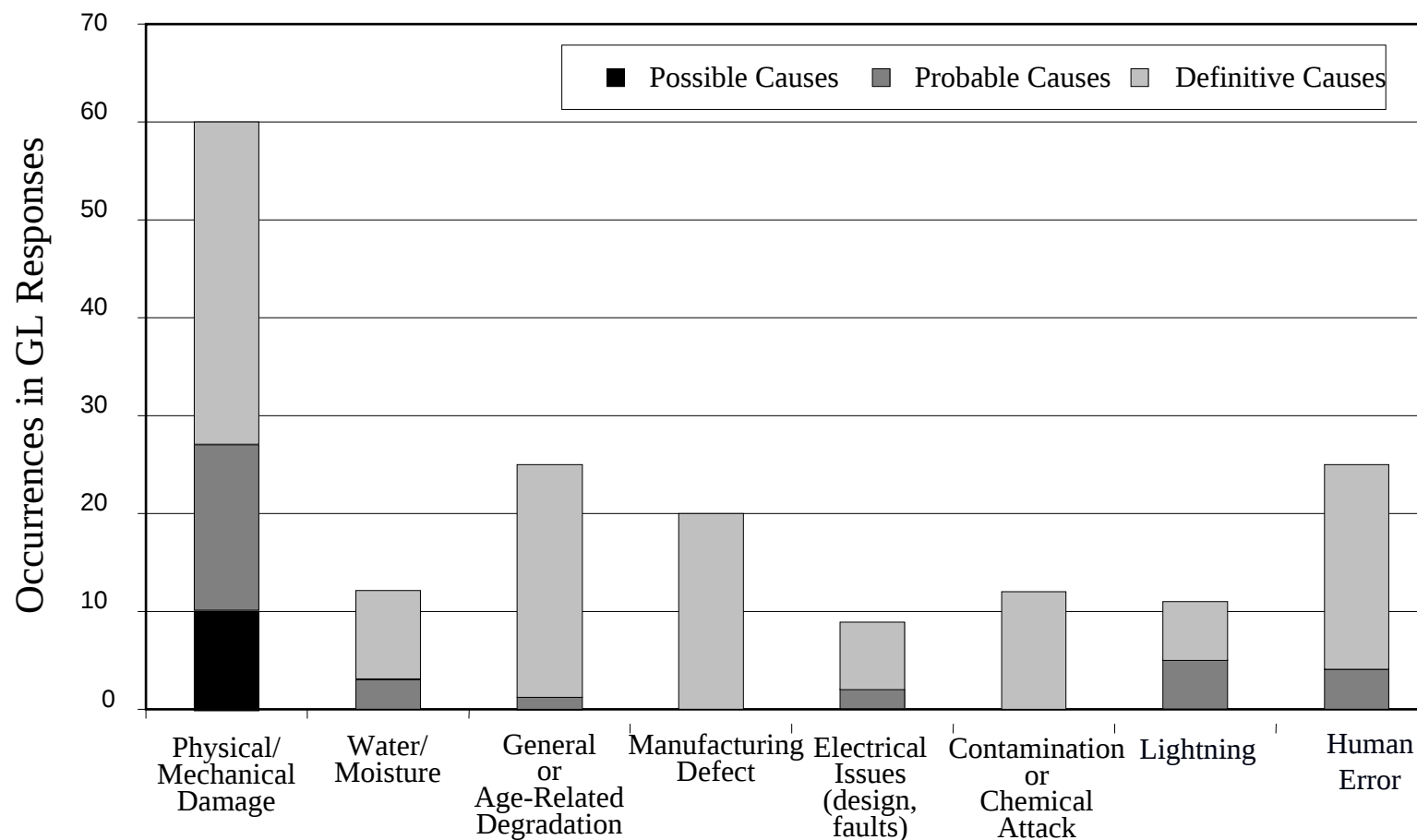
- 以下の機能を有するケーブル
 - ✓ 非常用炉心冷却系に係わる安全系ケーブル
 - ✓ 設計想定事象の発生防止系及び緩和系に係わる安全上重要なケーブル
 - ✓ プラント停止や出力低下の要因となる運転継続上重要なケーブル
- 絶縁体種別：XLPE, SiR, PVC, EPR, CSPE, EPDM, EVA他
- 導体材料：銅、錫メッキ銅、アルミニウム、ガラス他

ケーブルデータベースの構成

1. ケーブル技術情報データ・・・約900件
2. 現在行われているケーブル状態監視を含むケーブル保全データ・・・約40件
3. ケーブル故障事例データ・・・約200件
4. ケーブル環境認定規格データ・・・約10件
5. プラント及びケーブル布設環境データ・・・約40件
6. ケーブル布設環境の緩和に関するデータ・・・約10件
7. ケーブル取替に関するデータ・・・約10件
8. ケーブルの規制情報に関するデータ・・・約10件
9. ケーブル状態監視手法に関するデータ・・・約20件
10. ケーブル経年劣化研究に関する公開資料・・・約10件



米国のケーブル損傷の要因



ケーブル損傷の要因（代表事例をデータベースから抽出）

ケーブル種別	ケーブル故障の要因	事例数
電力	機械的な経年劣化 モータに接続されていたケーブルがモータの振動によって損傷した。	20
電力	ケーブルの品質（低品質） 製造メーカーが認定プログラムに基づいた材料を使用していなかった。更に、製造時に必要な技術水準が保たれていなかった。このため、60℃で1年後にケーブルシースに亀裂が発生した。	1 ロット (数km)
制御	ケーブル製造ロットの品質（低品質） 1つのロットで製造されたケーブルが故障には至らなかったが、ケーブル布設後の絶縁抵抗が極めて低下していた。全てのケーブルはすぐに取り替えられた。	1 ロット (数km)
電力	ケーブルの布設中に、他のケーブルと交差していたケーブルを作業員が非常に強い力で引っ張ったため、交差していた箇所が損傷し、2年後にその箇所で短絡が発生した。	1
電力	ケーブルの束の中間あたりで、火災防護層（延焼防止材）の下にあったケーブルにおいて、非常に低い絶縁抵抗が測定された。このケーブルを取り出したが、極めて脆くなっていた。	5
電力、 制御	目視点検でいくつかのケーブルのシース部分に亀裂が発見された。このケーブルは60℃、0.001Gy/h環境で20年間使用されたPVCケーブルであった。亀裂は可塑剤（添加物）の揮発によるものであり、機能は喪失していなかったが、LOCA時に必要なケーブルであるため取り替えられた。	10

ケーブルワーキンググループの 推奨経年劣化管理プログラムの項目

- a) ケーブル仕様
- b) ケーブル点検
- c) ケーブル保全
- d) ケーブル環境認定
- e) ケーブル経年劣化試験に基づく最新知見

(例)

c) ケーブル保全 (1/2)

ケーブル保全に係わる基準

- 長期運転のためには、安全上重要なケーブルの点検が欠かせない
 - ✓ 日本では、原子力発電所に布設されている全てのケーブルが定期的に点検されている

インデーター(非破壊劣化診断技術)の適用性

- ケーブル絶縁体の劣化を計測する必要がある
 - ✓ 破断時の伸びは高分子材料の劣化によって非常に良い状態指標であり、多くのデータが蓄積されている
 - ✓ 日本のACAプロジェクト(ケーブル経年変化評価技術調査研究)では、インデーターで得られたデータと破断時の伸びが良い相関を示すことが判った

ケーブル布設環境調査

- ケーブルの寿命を保証もしくは予測するため、ケーブル布設環境調査が不可欠である
 - ✓ ケーブル布設エリアの温度及び線量率を定期的または継続して監視することにより、ケーブル(交換周期)の管理がよりやりやすくなる。

(例)

c) ケーブル保全 (2/2)

ホットスポット(局所高温箇所)の特定

- ホットスポットが正確に特定されていないとケーブル故障に繋がり、事前のケーブル補修や取替に対処できない
 - ✓ 環境調査、ケーブルデポジット(ケーブルのサンプル設置)
 - ✓ 電氣的な状態監視手法を用いて解析(Haldenで開発された手法(LIRA)はケーブルのホットスポットを特定するための定期的な試験に使える)

配管断熱材の取り外し

- 保全工事等で断熱材を(恒常的に)取り外した場合、ケーブルが高温下に晒され損傷に至ることがある
 - ✓ 断熱材を取り外す場合には、近傍に設置されたケーブルに対する影響評価を行うことが重要である。