IAEAプロジェクト（FUWAC）

「高燃焼およびプラント経年化時の燃料挙動の信頼性確保を目指した最適水化学制御」

"Optimisation of Water Chemistry Technologies and Management to ensure Reliable Fuel Performance at High Burn-up and in Ageing Plant" (FUWAC)

日本原子力研究開発機構
内田俊介

Water Chemistry Programme

No.1

IAEA Coordinated Research Programmes

1. **CCI:** Investigation of Fuel Cladding Interaction with Water Coolant in Power Reactors. 1981-1986.
2. **WACOLIN:** Investigations on Water Chemistry Control and Coolant Interactions with Fuel and Primary Circuit materials in Water Cooled Power Reactors. 1987-1991.
3. **WACOL:** High Temperature On-line Monitoring of Water Chemistry and Corrosion. 1995-2000.
4. **DAWAC:** Data Processing and Control Technologies for Water Chemistry and Corrosion Control in Nuclear Power Plants. 2000-2005.
5. And now - **FUWAC**

FUWAC CRP

No.2

Background

CCI： 下記５つのターゲットを掲げて活動

- increased performance,
- better fuel utilization,
- flexibility of operation,
- reliability,
- safety.

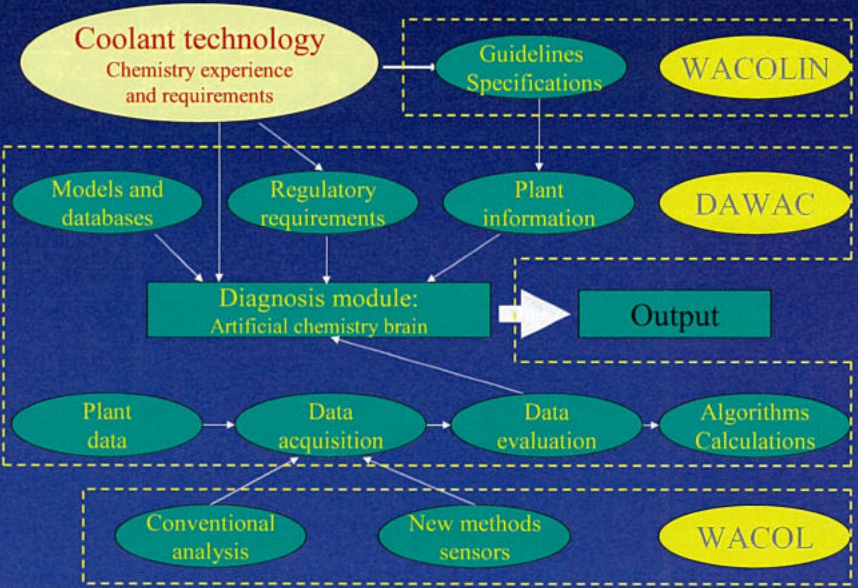
WACOLIN： 原子炉水化学のマニュアル作成を目的とした

WACOL and DAWAC： WACOLINを引き継ぎ、水化学関連の測定、モニタリングおよび制御に焦点を当てて議論

FUWAC： 再び燃料と冷却水の相互作用重点に復帰

過去の水化学関連のIAEA-CRPの相関

No.3



FUWAC CRP

No.4

Participants and presentations (1)

機関(国名)	participant	発表題目
IAEA	J. C. Killeen	Overview of the CRP
Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy (Bulgaria)	I. Dobrevski	VVER-1000 Coolant Chemistry Improvement by Extended Fuel Cycles
University of New Brunswick (Canada)	A. Feicht	Laboratory Studies of the effects of SG tube characteristics on oxide formation under PWR primary coolant conditions
Nuclear Research Institute Rez (Czech)	K. Splichal	The role of coolant chemistry and decontamination on formation of corrosion product deposits and surface layers on out-of-core and fuel cladding surfaces
VTT (Finland)	T. Saario	In-situ studies and modeling of oxide growth on fuel cladding materials in PWR water
EDF (France)	A Tigeras	AOA Investigation: Understanding the parameter evolution in PWR primary coolant (EDF feedback)
Paks Nuclear PP (Hungary)	J Schunk	Analysis of Primary corrosion Particles

FUWAC CRP

No.5

Participants and presentations (2)

機関(国名)	participant	発表題目
BARCF (India)	S.V.Narasimhan	Optimization of water chemistry for minimization of FAC of feeders, radiation field build-up in PHWRs & crud deposition on fuel
BARCF (India)	V. Kain	Effect of dissolved oxygen on oxidation and hydrogen pick up behaviour of Zr based alloys
KAERI (Korea)	W. Y. Maeng	The Effects of Water chemistry (pH. H_2) on the CRUD Deposition in Korean PWR
JAEA (Japan)	S. Uchida	Evaluation of deposition and release of crud on fuel surface under boiling and sub-cool boiling conditions
Institute for Nuclear Research (Romania)	I. Pirvan	Zircaloy-4 corrosion behavior in presence of the corrosion products in CANDU reactor
Forsmark NPP (Sweden)	B. Beverskog	Nickel enrichment in AOA fuel crud
Studsvik (Sweden)	Jiaxin Chen	PWR fuel CRUD characterization and CIPS risk assessment - A case study on an ageing Swedish PWR unit

FUWAC CRP

No.6

Participants and presentations (3)

機関(国名)	participant	発表題目
VNIPIET (Russia)	V.G. Kritsky	Influence of operating and water chemistry parameters on fuel cladding corrosion and steel corrosion products deposition on cladding surfaces
Kharkov Institute of Physics and Technology (Ukraina)	M. Tretyakov	Analytical and experimental research into effects of coolant chemistry on corrosion processes in Ukraine WWER-1000 core materials
China Institute of Atomic Energy (China)	P. Zhang	Investigation of corrosion performance of Zr based alloys in high burn-up water chemistry conditions
GE (USA)	S. Hettiarachchi (Venkateswaran)	Advances in Water Chemistry for Simultaneous SCC Mitigation and Dose Rate Reduction of BWRs
consultant (France)	F. Nordmann	Review of recent Conferences concerning Primary Water Chemistry Water chemistry guide line of VVER

FUWAC CRP

No.7

Participants

Kalppakam発電所事務棟入口

1st RCM on FUWAC

No.8

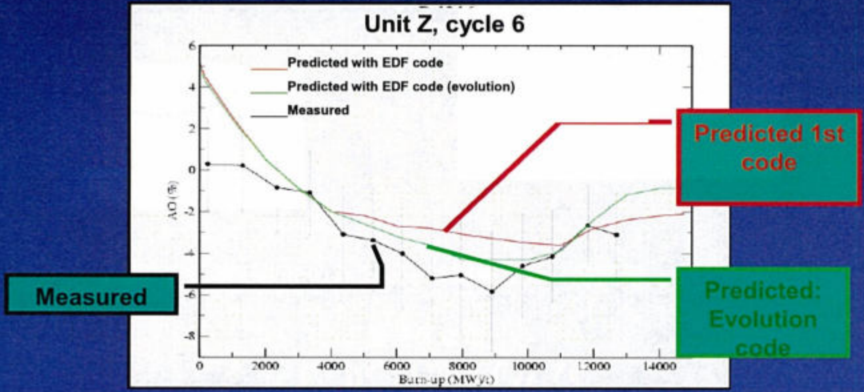
主要報告事項（1）

仏国：

- 現状AOAのプラント運転、安全性、経済性への影響はない　(Nordmann) RCM1
- 30例（2004年以降では10例）をAOAと同定　(Tigeras)

  運転時間>430 FPD 且つ [B]>1300 ppm

$$AO_{ass}\,(\%) = \frac{P_{top} - P_{bottom}}{P_{top} + P_{bottom}} * 100$$



1st RCM on FUWAC

No.9

主要報告事項（2）

仏国：

- AOAを支配するパラメータはまだ見出せていない

  [Li]、[B]、[Zn]
- Znはクラッドを燃料に強固に付着させるが、

  軸方向には均一（AOAでは燃料上部への付着が問題）

  クラッドの発生を抑制するので

  AOAを抑える働き
- AOAはシステマティックには線量率を挙げることは確認されていない
- AOA支配パラメータの摘出とモニタが今後の課題

ハンガリー：

- VVERでもAOAの兆候が顕在化（PWRだけの問題ではない）

ブルガリア：

- 長期サイクル運転時、[Li]が増加して、AOA発現することを危惧
- KOHがAOA対策の切り札となる説はほぼ消滅

スエーデン

- Ringhals 4の燃料クラッド分析

  AOAとNiの付着についての相関を確認

  Niがボロンを巻き込んで付着（bonaccordite、Ni_2FeBO_5、と推測）

  付着層はポーラスでサブクール沸騰によると見られるチムニーが見られる

  ただし、確認されたクラッドが運転中付着物のうちどの程度か不明

1st RCM on FUWAC

No.10

主要報告事項（3）

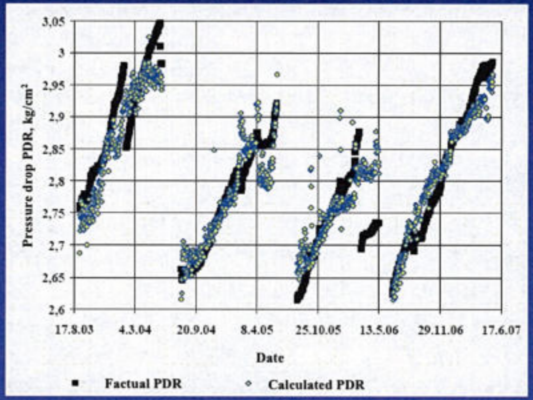
ロシア

- VVER-440で、クラッドのスペーサグリッドへの付着。炉心差圧増大（Kritski）

  Paks-3での実績

  スペーサグリッドへのクラッドの析出：差圧上昇。燃料も同じ→AOA

  ただし、AOAに関しては、Schunkが否定



付着しても
次サイクルまでには回復

燃料に付着したクラッドの
測定の意味は？

EDFの炉水放射能も
各サイクル末期に上昇

共通事象

1st RCM on FUWAC

No.11

主要報告事項（4）

フィンランド：

- 各種Z合金の腐食試験（Saario）

  Zr-4とE110の腐食試験、LiよりKの方が腐食への影響大（120時間の浸漬）

  Chemicalには正しいが、mechanical factorを入れた場合の効果は評価要

中国：

- Zr合金の腐食試験（スポンサー：IAEA）（Zhang）

インド：

- FACのループテスト（CANDU1次系でクラッド発生源）

韓国（新規加入）：

- サブクール沸騰下でのクラッド付着実験

その他

(1)WWER水化学ガイドライン　F. Nordmann (元EdF)

2007年10月モスクワで最終公聴会開催。WWER水化学ガイドラインとして公開。
全160ページで、IAER-NERとして発行。

(2) CANDU発電プラント（MAPS）とBhabha原子力研究所（BARC）見学

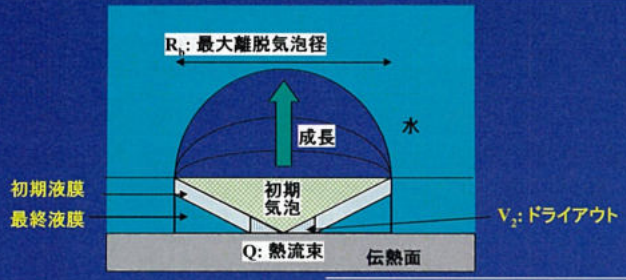
現在インドでは14基のCABDUと２基のBWRが稼動。
WWER ２基、LWR(WWER/PWR) 4 基、LMFBR（Thサイクル炉）を建設予定。
Madras Atomic Plant Station（MAPS）のKalppakam発電所：CANDU ２基稼働中。
BARCはKalppakam発電所に隣接し、材料、水化学関連の研究施設を見学。

1st RCM on FUWAC
No.12

主要報告事項（5）

日本：
- 燃料表面へのクラッドおよびイオンの沸騰析出と化学形態変化（Uchida）
  過去の研究のレビュー（薄膜蒸発乾固モデル）
- 薄膜蒸発乾固モデルのサブクール沸騰条件への拡張

	BWR	PWR
条件	沸騰	サブクール沸騰
初期気泡	境界層内での気泡核	境界層内での気泡核
成長	気泡内の蒸気圧	気泡内の蒸気圧
主要数式	薄膜蒸発乾固モデルによる半経験式	キャビテーションモデルに基づく半経験式
気泡成長の終焉	気泡の浮力により伝熱面からの離脱	蒸気凝縮による圧壊

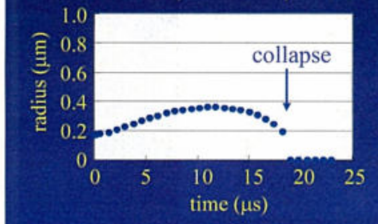


1st RCM on FUWAC
No.13

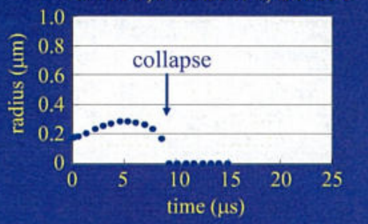
主要報告事項（6）

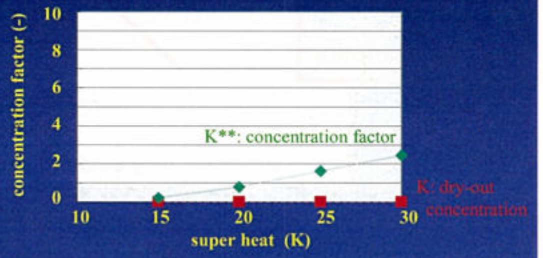
日本：
- 薄膜蒸発乾固モデルのサブクール沸騰条件への拡張

T:275C, P:6.7MPa, ΔTs25C



T:330C, P:15.5MPa, ΔTs25C





サブクール沸騰は直接観測が困難で、
理論ツールによる評価が不可欠

RCM on FUWAC
No.14

今後の対応

主要な検討課題：

AOAへの影響因子； PWR その他　高負荷燃料（PWR、VVER）
長期サイクル（VVER）
これまで良好であったPWR（なぜよかったか？）
BWR（本質的にBの蓄積はない）
SGは影響するか、クラッド組成（Ni濃度）？
運転条件、トランジェント条件
Znの影響は
高[Li]運転は大丈夫か？
LiOHとKOHの差異

被覆管の腐食；　新合金
[Li]限界値

差圧上昇；　VVERのまとめ

線量率低減；　RBMK、BWR

RCM on FUWAC
No.15

今後の寄与マトリックス

	実機					基礎実験･理論
	PWR	VVER	BWR	PHWR	RBMK	
K/Li	Fin (A)	Fin (A), Bul(P)				
ｸﾗｯﾄﾞ付着		Cze(T), Hun(P), Rus(P)	Jap(M)	Rum(A,M)		
ｸﾗｯﾄﾞ組成	Swe (P), Ca (A)		Swe(P), Jap(P)			
ﾏｽﾊﾞﾗﾝｽ	Ca(A,M)					
SG材料	Ca(A), Chi(A)					
Zr合金酸化	Rum(A), Fin(A), Chi(A)	Ukr(A,P), Rus(P,M)	Jap(A)	Rum(A)	Rus(P,M)	
長期ｻｲｸﾙ	Fin(I), Bul(I), Fra(P)	Rus(P), Bul(I), Hun(P)				
Li濃度	Fra(P), Fin(A)					
線量率		Cze(P,T), Bul(P,I)	US(A,P), Jap(P), Swe(P)		Rus(P,M)	
FAC				Can(M), Ind(A,P)		
AOA定義						Fra(I), Bul(I)
[B]閾値						SWE(?)
運転経験						Fra(P)
ｻﾌﾞｸｰﾙ沸騰						Swe(?), Hun(P), Jap(M)
HO/HOR						Bul(M)
AOA指標						Fra(I)
Zn data						Fra(?), Ca(I)

A:ｵｰﾄｸﾚｰﾌﾞ実験、P:ﾌﾟﾗﾝﾄﾃﾞｰﾀ、T:実験炉ﾙｰﾌﾟ、I:調査、M:モデル

次回 の第３回RCM：2009年6月　フィンランドで開催予定