

水・蒸気性質シンポジウム2024, 10月22日

依頼講演 3

DSC-KTP-COM-0014

# IAPWSにおけるIRS専門委員会 と 動力プラントの基盤技術分科会

東芝エネルギーシステムズ（株）

沖田 信雄

IAPWS : International Association for  
the Properties of Water and Steam

IRS : Industrial Requirements and  
Solutions (working group)

**TOSHIBA**

Toshiba Energy Systems & Solutions Co. 2024

## 1990年以降のIAPWSの目的と専門委員会の構成

### 目的：

- ◆ 軽水、重水及び主要な水溶液の諸性質の国際標準の制定
  - ✓ 使い易い形態の数値・数式情報として提供
- ◆ リリース・ガイドラインの啓蒙・普及
  - ✓ 研究上の必要性を明確にし、研究を推進・組織化
  - ✓ 実測値の収集・鑑定・評価と国際研究協力活動
- ◆ 情報交換及び意見交換（フォーラムとしての場）
  - ✓ 研究成果・アイデア及び経験等を各国専門家が持ち寄る

### 専門委員会（Working Group）の構成： 2009年からSCSW（海水の準専門委員会）発足

- 水と蒸気の熱物性（TPWS） : Thermophysical Properties of Water and Steam
- 実用計算（IC） ← IRSの前身 : Industrial Calculation
- 水溶液系の物理化学（PCAS） : Physical Chemistry of Aqueous Solution
- 発電サイクル化学（PCC） : Power Cycle Chemistry

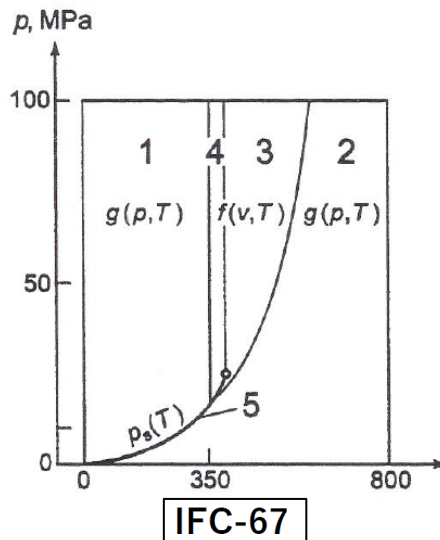
## 実用計算（IC）専門委員会の目的と活動内容（成果）

目的と活動内容：

- ◆ 産業界のニーズとTPWSにおける学術研究の接点の明確化
  - ✓ 火力・原子力発電プラントの最適設計に供する
  - ✓ 国際実用状態式の改良や計算処理の高速化
  - ✓ 新実用状態式（IF97）による影響評価や各種リリース
- ◆ 成果
  - IFC-67に代わる新実用状態式IAPWS-IF97の国際標準の採択
    - リリース（R7）として正式発行（1997年）
  - IF97の逆関数の補助リリース（SR）の発行
    - 領域1,2の圧力 $p(h,s)$ （SR2, 2001年）

国内では、日本学術振興会、蒸気性質第139委員会の「実用計算分科会」の主査として、富士電機の宮川委員がWG-ICに所属して活動、貢献された。（1999年から東芝、沖田もIAPWS委員となり、WG-ICに所属した。）

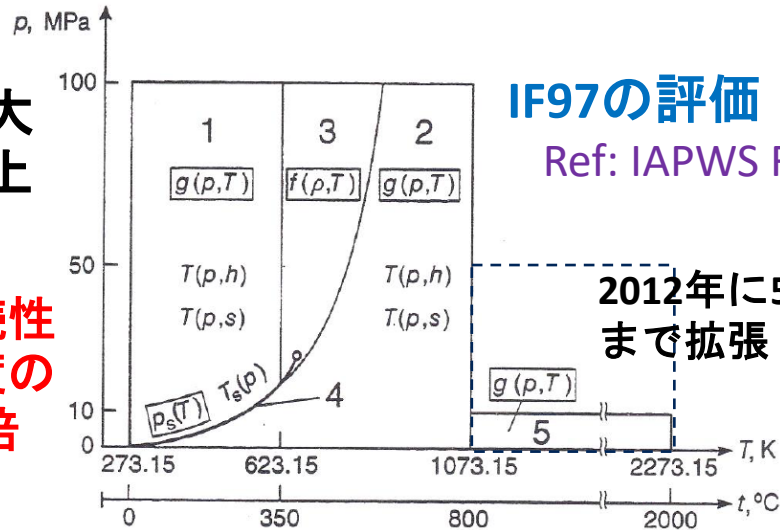
## WG-ICにおける成果と報告事例の紹介 (1)



領域の拡大  
と精度向上



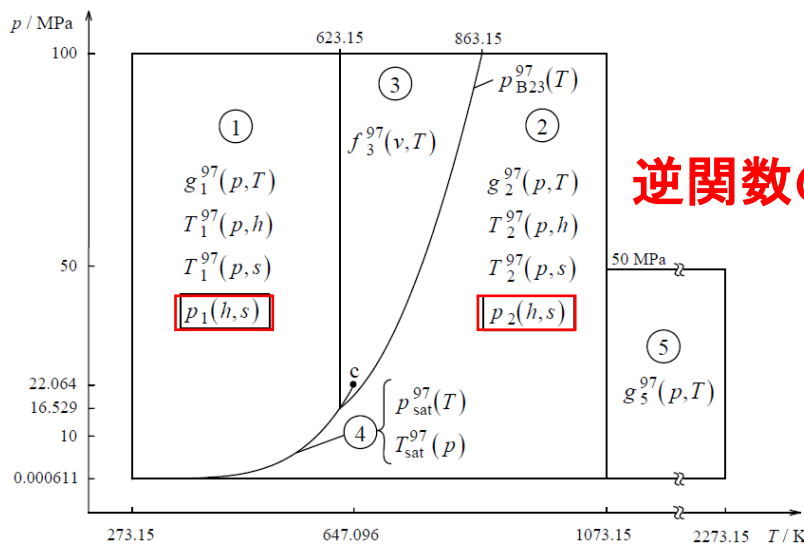
境界の連続性  
と計算速度の  
向上: 5.1倍



IF97の評価

Ref: IAPWS R7 - 97

2012年に50 MPa  
まで拡張



逆関数の追加: 領域 1, 2の p (h,s)

Ref: IAPWS SR2 - 01

Figure 1. Equations of the IAPWS-IF97 and backward equations  $p(h,s)$

## WG-ICにおける成果と報告事例の紹介 (2) ガスタービン複合サイクルにおける影響評価 (IF97-IFC67)

Schematic diagram of  
Combined Cycle Power Plant

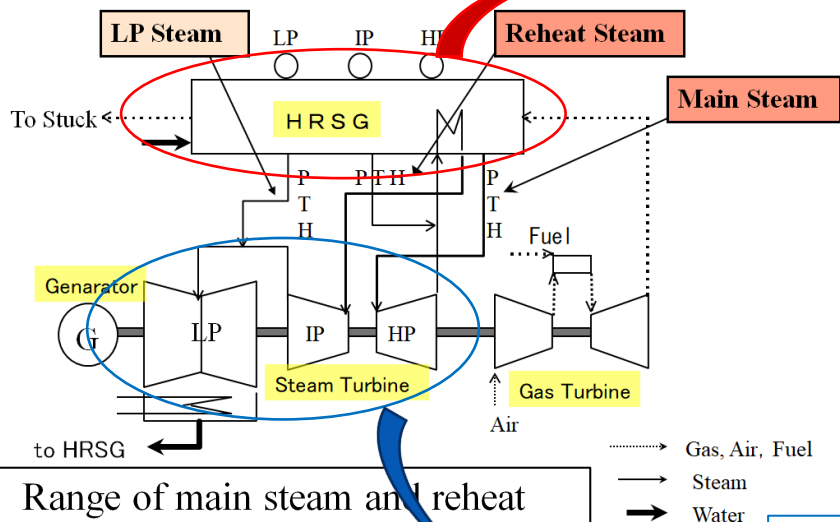
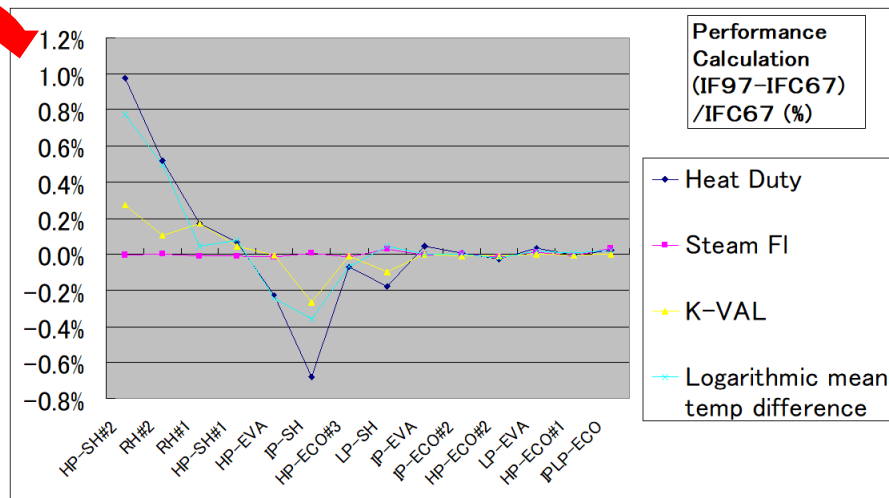
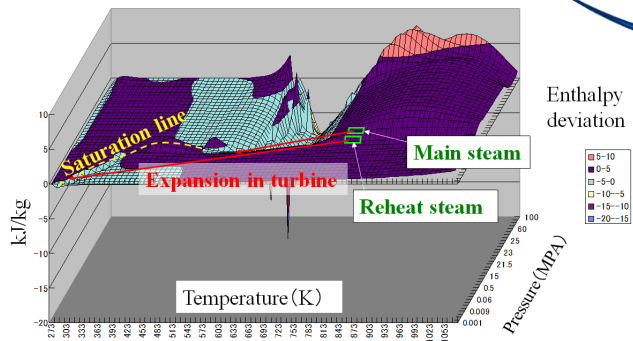


Fig 2-4 Difference of steam condition at each section  
**HRSGの伝熱性能に及ぼす影響 (2000年)**



Range of main steam and reheat steam vs Enthalpy deviation

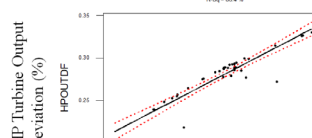
Enthalpy deviation (kJ/kg) = IAPWS IF97 - IFC67



Regression of Main steam pressure and HP turbine output deviation

(%)  
Regression Plot

$Y = 0.1306X + 1.20602$   
 $R Sq = 83.4\%$

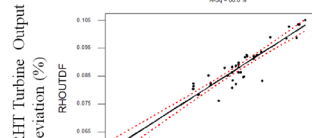


**蒸気タービン出力に及ぼす影響 (2001年)**

Regression of Reheat steam pressure and Reheat turbine output deviation

Regression Plot

$Y = 4.66E-02 + 1.00602X$   
 $R Sq = 89.3\%$



## IRS（産業界のニーズと解法）の発足とミッション

### 発足の背景：

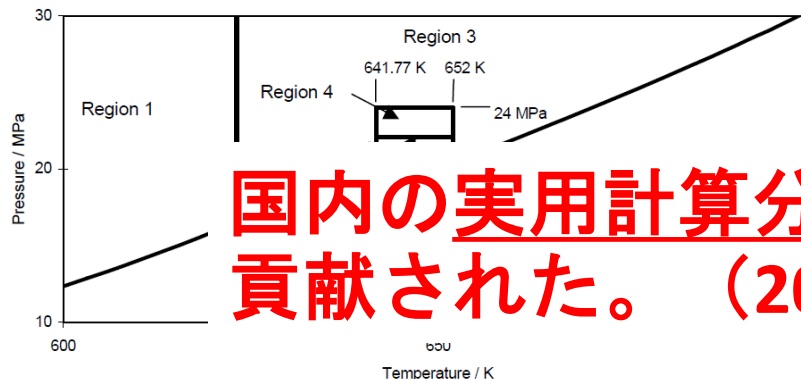
- ◆ 国際実用状態式IF97の評価と補助リリースの検討等が一段落
  - ✓ IF97のリリース（1997年）と評価（～2001年）
  - ✓ 逆関数の補助リリースの検討（1997～2001年初版発行）
  - ✓ TTSEに関する検討とガイダンスの発行（1998年～2003年）
- ◆ 2001年の年会（米）で、IAPWSの再組織化を検討
  - ✓ WG-ICは、新しいミッションと名称の変更を検討
    - ・ 当初の案は“Industrial Requirements and Resolutions (IRR)”
  - ✓ 理事会（EC）で“Industrial Requirements and Solutions”に決定

### IRSのミッション

- 産業界からのニーズを集める。
- その課題を研究者へ提供する。
- 科学的根拠に基づいた解決策を広める。

## WG-IRSの当初の活動と成果

- IF97の逆関数のニーズの調査 (2002年) ⇒ 領域3に注力
- 各種逆関数の補助リリース (SR) の発行
  - 領域3の温度  $T(p,h)$ , 比容積  $v(p,h)$ ,  $T(p,s)$ ,  $v(p,s)$  (SR3, 2004年)
  - 領域3の圧力  $p(h,s)$ , 領域境界  $h(s)$  と領域4の飽和温度  $T(h,s)$  (SR4, 2004年)
  - 領域3の比容積  $v(p,T)$  (SR5, 2005年)
- 新研究用状態式 (IAPWS-95) に適用した表参照計算法 (TTSE) のガイドラインの発行 (G6, 2003年)



高速計算用 TTSE\* の検証範囲  
 (\* Tabular Taylor Series Expansion)

**国内の実用計算分科会の宮川主査が大変貢献された。(2004年名誉員賞受賞)**

Figure 2. Definition of test regions (detail of regions 4, 5 and 6)

Ref: IAPWS G6 - 03

## 新分科会の発足と当初の活動

### 発足の経緯

- ◆ WG-IRSの発足(2002年)による新しいミッション
  - ✓ 産業界のニーズ、課題の発掘
    - 実用計算から環境問題、再生可能エネルギー等の多様化へ
  - ✓ IC委員長からIRS委員長へ（委員長は6年毎）
    - 宮川委員長（1999～2004年）⇒ GE社 Parry 委員長（次期6年）
    - 国内の実用計算分科会（宮川主査）も2004年まで ⇒ 新分科会へ

### 新分科会の活動（新主査：沖田）

- ◆ 新分科会（2005年度～）の命名（2004年京都ICPWSより）
  - ✓ 環境技術？ ⇒ 動力プラントの基盤技術（広い課題へ）
- ◆ テーマの洗い出し
  - ✓ アンケート調査等による優先課題の選択と共有
    - 分科会委員持ち回りによる新技術の情報交換、課題の共有



## WG-IRSと国内分科会

### WG-IRSの活動

- ◆ 新しい研究課題とニーズの検討（～2010：Parry委員長, GE）
  - ✓ CO2回収用水溶液（CCS）、湿り空気（HATサイクル他）
  - ✓ 水素・酸素燃焼、CO2サイクル、海水の性質
  - ✓ 排ガス中の水分の結露による腐食 ⇒ **ICRN-23（国内分科会）**
  - ✓ 高速計算の必要性（CFD解析等）
- ◆ テーマの絞り込み（～2016：Weber委員長, Siemens）
  - ✓ IRSミッションの再定義
    - ニーズの優先順位、他のWGとの協調、解決策の提示と支援
  - ✓ 新しい産業界のニーズの調査 ⇒ 作業グループ（TG）
  - ✓ CFDに適用可能なSBTL法\*による高速表計算 ⇒ **G13-15**
  - ✓ SBTL発行後のIRSのミッションに不安（参加メンバー減少）
    - 国内分科会からニーズリストと「産業界のニーズのカテゴリ」提案

\* Spline-Based Table Look-up method

## 国内の分科会からIAPWS (WG-IRS) への提案 (2016年～)

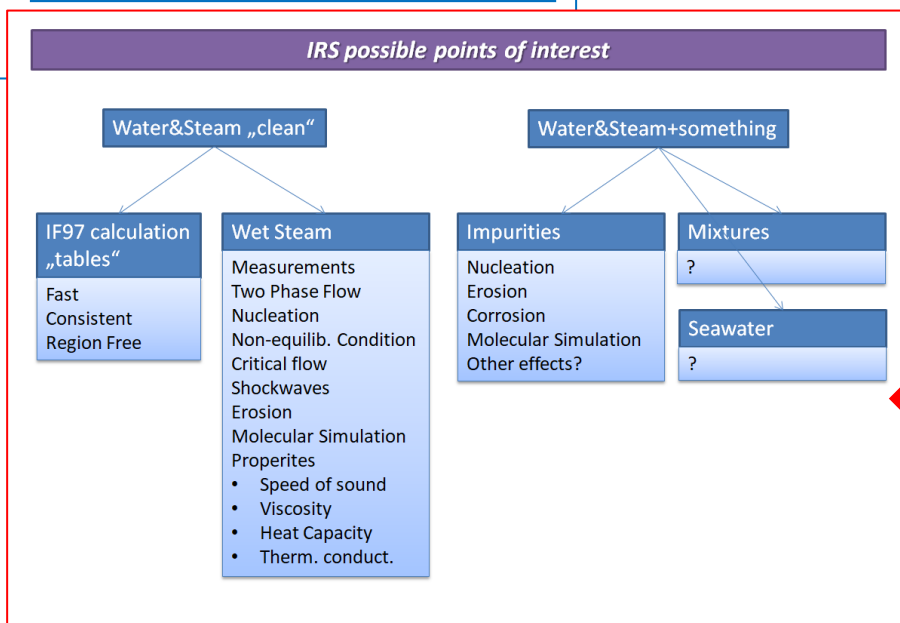
2016年

### IRS mission and activities (Summary)

- **Category A:** To identify and prioritize industrial requirements for water, steam, and aqueous system ⇒ [ICRN investigation etc.](#)
- **Category B:** To work with other IAPWS working groups to deliver solutions ⇒ [New industrial formulations and methods](#)
- **Category C:** To support implementation of solutions ⇒ [Contact with standard committees](#)

### Potential new ICRNs (Summary)

- **Simulation for frost process with molecular models**
- **Frost layer growth in multicomponent mixtures**
  - CO<sub>2</sub> and water
- **Study on phase change**
  - Simulation for freezing process with molecular models
- **Thermophysical properties of slurry ice**



heat transfer tube surface

nd - PowerPoint format -

© 2016 Toshiba Corporation 12

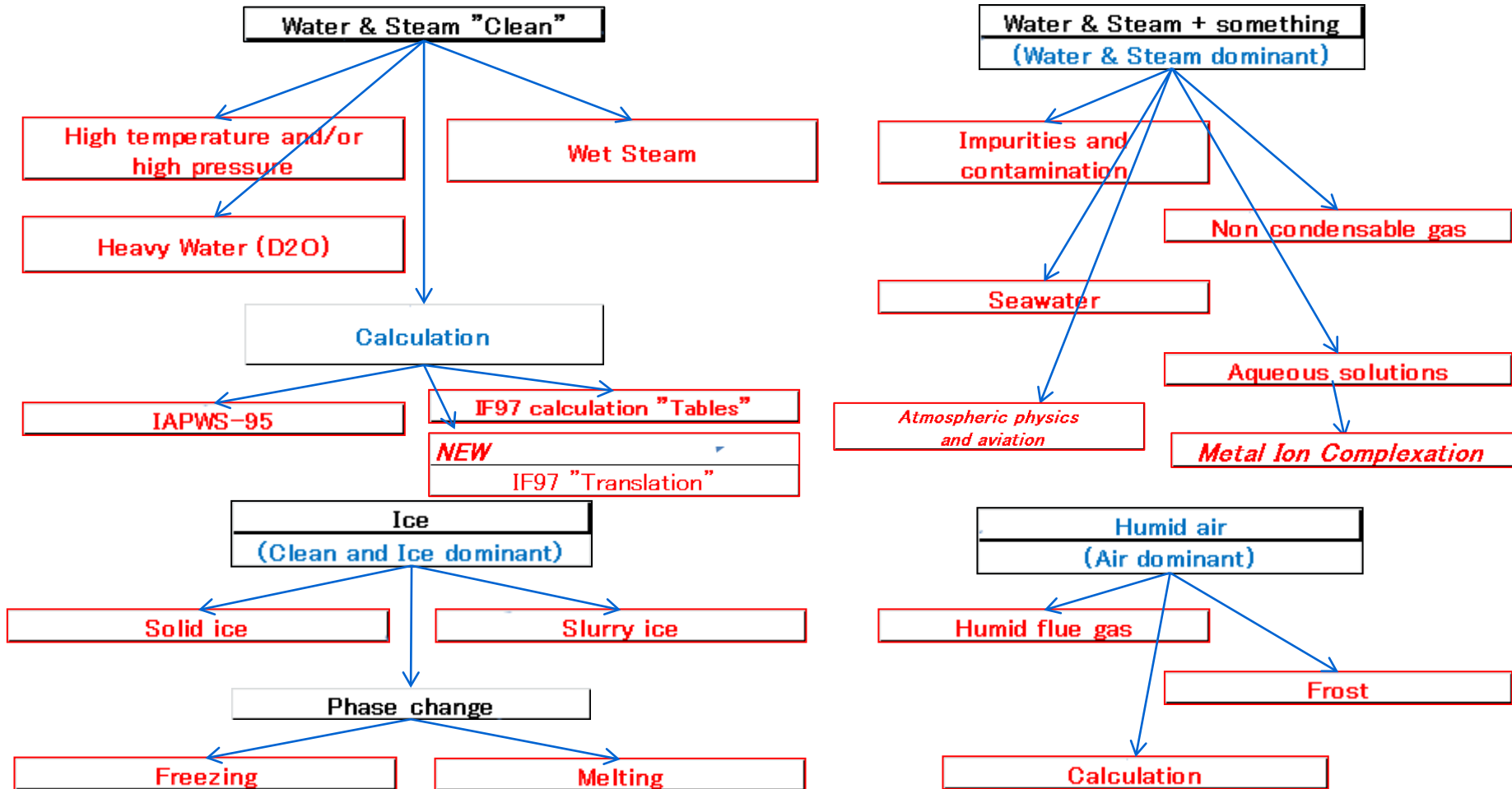
2017年に、IRS幹部と  
ニーズのカテゴリに  
ついて議論開始した。  
(委員長として)

# Potential Categories and Items of IRS interests

DSC-KTP-COM-0014

- Potential Categories sorted by the original TG members (1) -

Red bold: Potential Categories

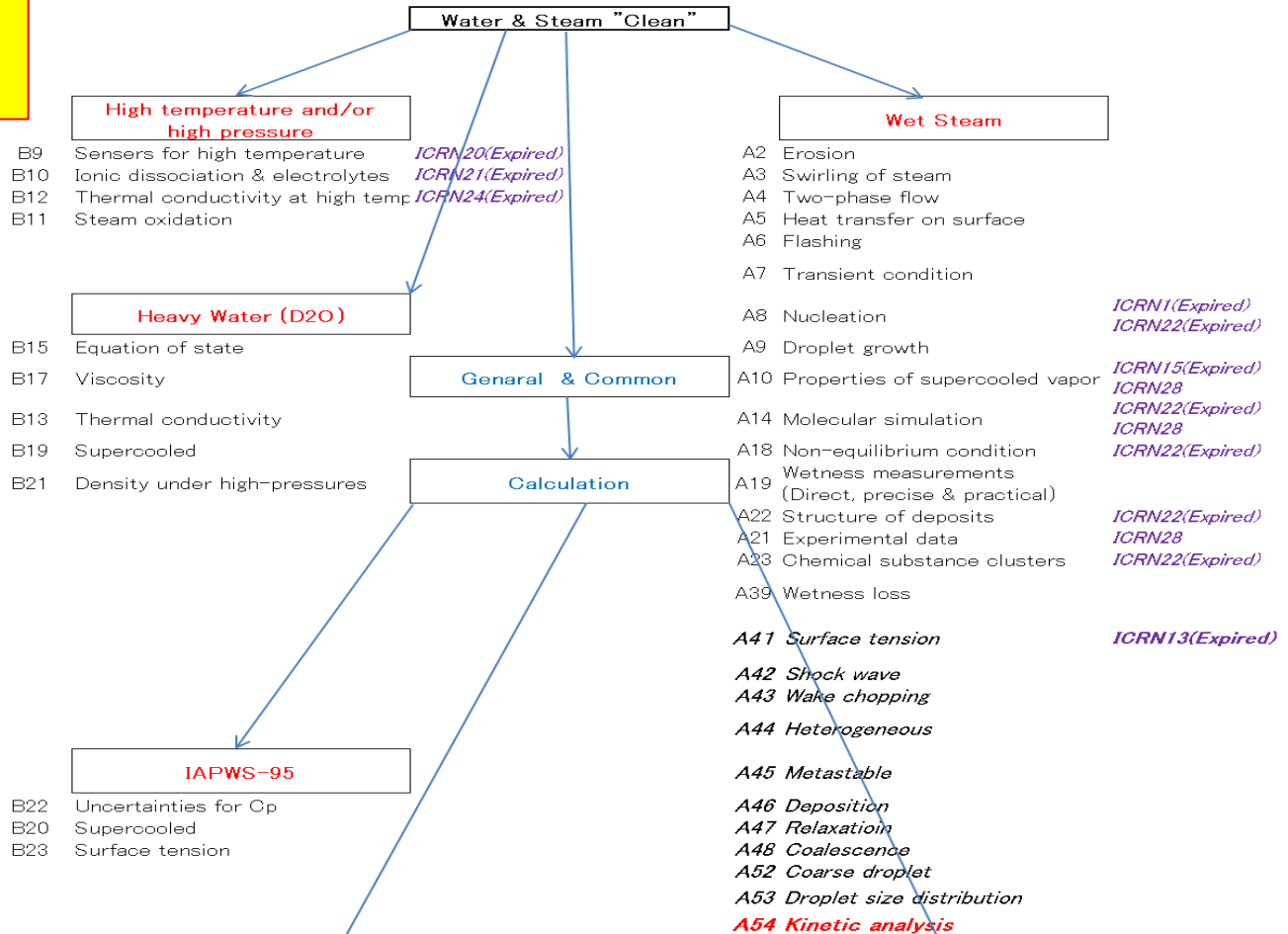


# Potential Categories and Items of IRS interests

DSC-KTP-COM-0014

## - Hierarchy of Categories and Items (1) -

カテゴリリストは  
毎年更新



**IF97 "Translation"**  
**A55 Translation from Fortran**

**IF97 calculation "Tables"**  
A1 Fast, Consistent & Region free  
**A56 Standard software "SBTL"**

## 国内分科会から提案して活動中の作業グループ (TG)

◆ IRS主体の7つのTGの内、4つのTGが活動中

TG名 (邦訳)	概要 (課題と目的など)	関連専門委員会
産業界のニーズの カテゴリ	産業界の課題を体系化し、優先順位を確認して、 <b>作業グループに落とし込む</b> 。	全 (TPWS, IRS, PCC, PCAS, SCSW)
地熱プラントに関する課題の白書	地熱蒸気に含まれるCO <sub>2</sub> やH <sub>2</sub> Sの <b>腐食特性</b> や混合蒸気の <b>熱物性値</b> の定量化, 標準化	TPWS, IRS, PCC
蒸気タービンの運転データ取得	低圧タービンの <b>水滴を含む実機データ</b> を集めて、タービン設計に反映する。	TPWS, IRS, PCAS
HRSG出口の酸露点の白書	天然ガスの複合発電の排ガスに含まれる <b>微量のSO<sub>3</sub>による露点上昇の予測式</b> を提案	TPWS, IRS, PCC, PCAS

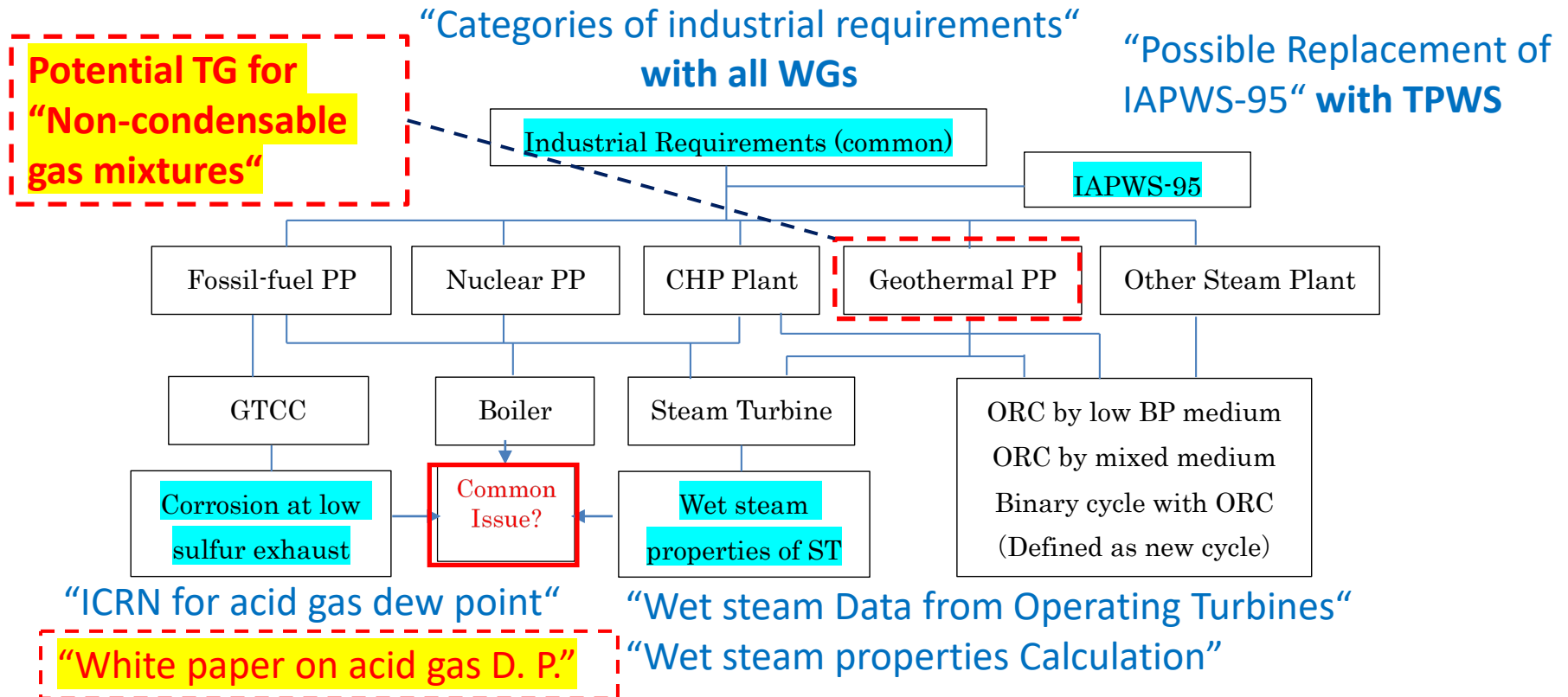
➤ その他 3 つのIRS主体のTG : 計算法に関わるTG

- Wet steam properties Calculation
- Translation of IF97 Fortran routines into other programming languages
- Proposal for the **Development of an Industrial Formulation for the Thermodynamic Properties of Water and Steam based on SBTL**

# Potential TGs with other WGs to be set up

DSC-KTP-COM-0014

Relation between each task group and field to be covered

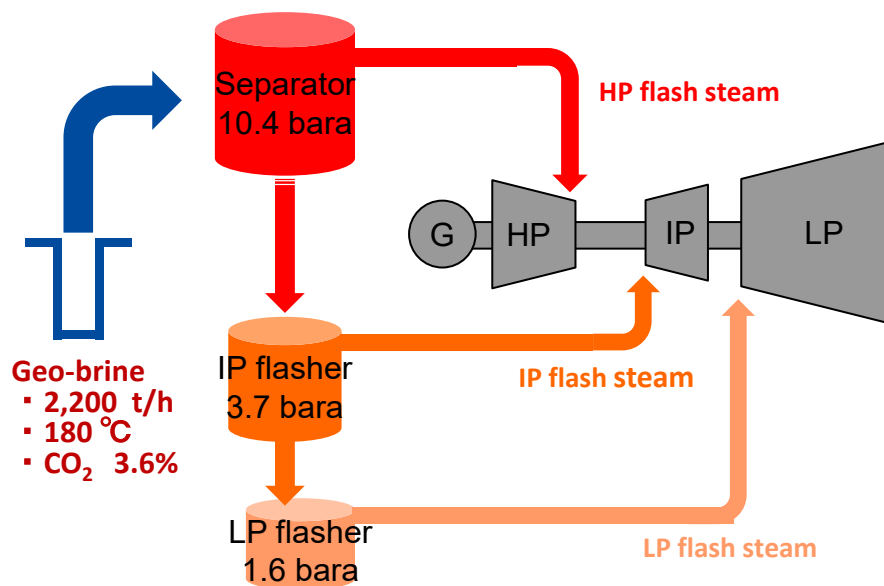


Blue letters : Existing task group of IRS (including TG led by TPWS-WG)

IRS continues information exchange for collaboration with PCAS

## Results of flash steam and generating power

DSC-KTP-COM-0014



	GERG-2008	PN-RBSN
Separator temp. °C	176.4	176.5
HP steam flow t/h (gas mass%)	355.8 (22.4%)	328.6 (24.2%)
HP enthalpy kJ/kg	-12,216	-12,111
IP flasher temp. °C	140.9	142.0
IP steam flow t/h	131.7(0.35%)	141.8(0.32%)
IP enthalpy kJ/kg	-13,226	-13,202
LP flasher temp. °C	113.4	115.0
LP steam flow t/h	89.1(0.0%)	95.2(0.0%)
LP enthalpy kJ/kg	-13,622	-13,610
Generator power output kW	72,340 (Base)	71,580 (-1.05%)

- Flasher calculation results

- Differences in temp. and enthalpy

- Type of EOS
    - Equilibrium constant K

- Generator power output

- 1% output difference caused by flow balance and heat drop

- Remarkable differences of steam flow around ±8%
    - Including difference in mixing rules of enthalpy by GERG-2008 and Pen-Robinson

To be updated  
By "EOS-CG"

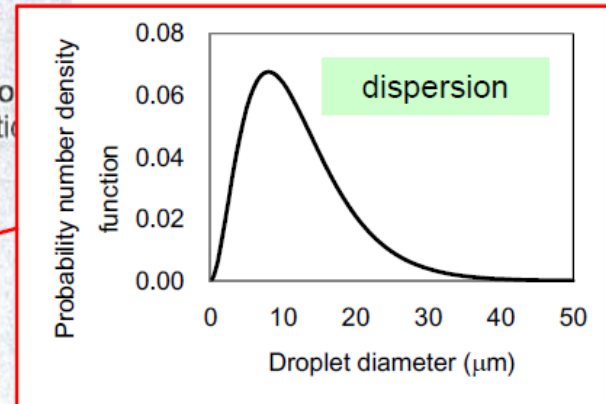
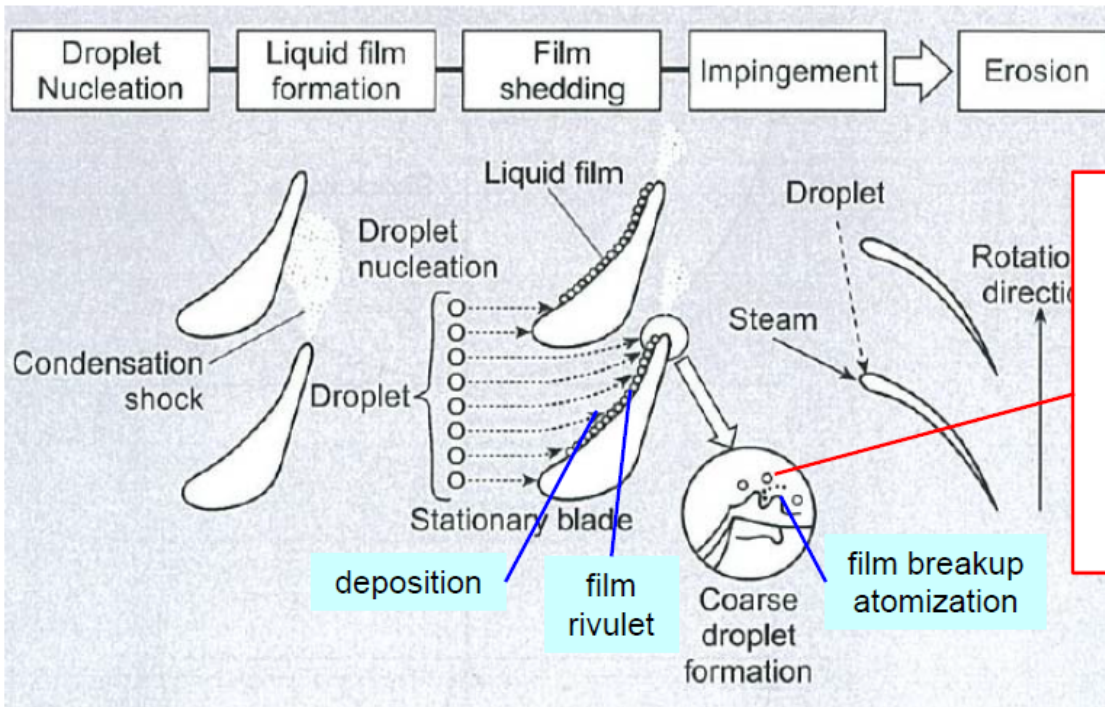




### 2. [Required data] Distribution of coarse droplet size

Number density distribution of coarse droplet size

function of  
 1) steam velocity  
 2) liquid mass flow rate  
 or  
 2-1) liquid velocity  
 2-2) liquid thickness



Degree of freedom in the function probably 2 or 3  
 Nukiyama-Tansawa distribution (DoF=3)  
 Rosin-Rammler distribution (DoF=2)

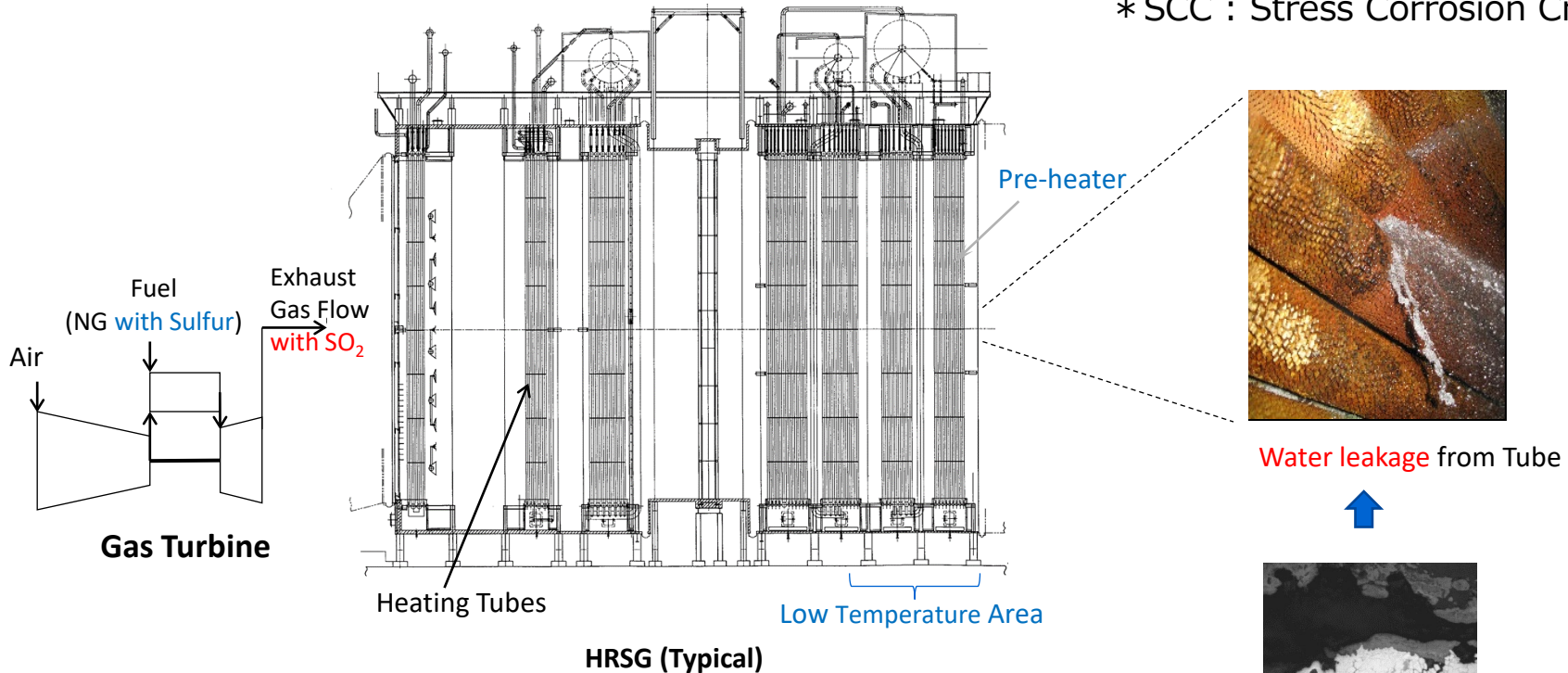
[3] T.H. McCloskey, R.B. Dooly and W.P. McNaughton, Chapter27: Liquid Droplet Erosion of Rotating and Stationary Blades, in Turbine Steam Path Damage: Theory and Practice, Volume 2: Damage Mechanism, EPRI TR-108943-V2, 1999

Courtesy to Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

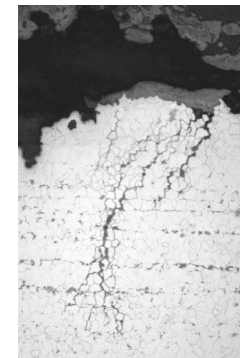


### Corrosion and SCC\* caused by condensation

\* SCC : Stress Corrosion Cracking

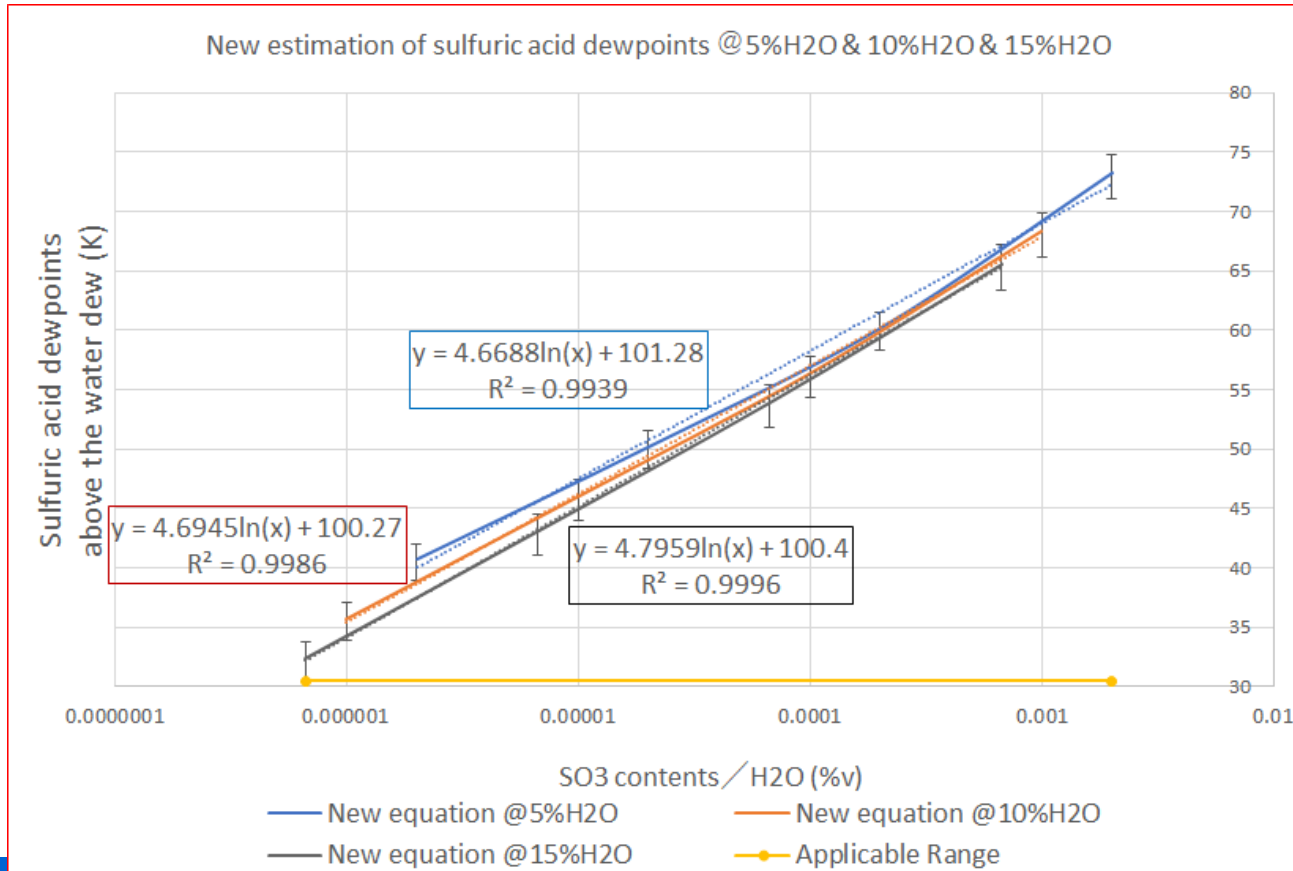


- Combustion of NG with Sulfuric compound  $\Rightarrow$  SO<sub>2</sub>
- SO<sub>2</sub> + ½ O<sub>2</sub>  $\Leftrightarrow$  SO<sub>3</sub> (inside HRSG when exhaust gas passes through)
- SO<sub>3</sub> raises dew point temperature of exhaust gas  $\Rightarrow$  Condensation
- SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O = H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  $\Rightarrow$  Corrosion
- 4NO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> = 4HNO<sub>3</sub>  $\Rightarrow$  SCC
- SCC occurs  $\Rightarrow$  Water leakage from the tube  $\Rightarrow$  Intensive corrosion



SCC in Tube Wall

The estimation formulas are described by three curves of H2O%v

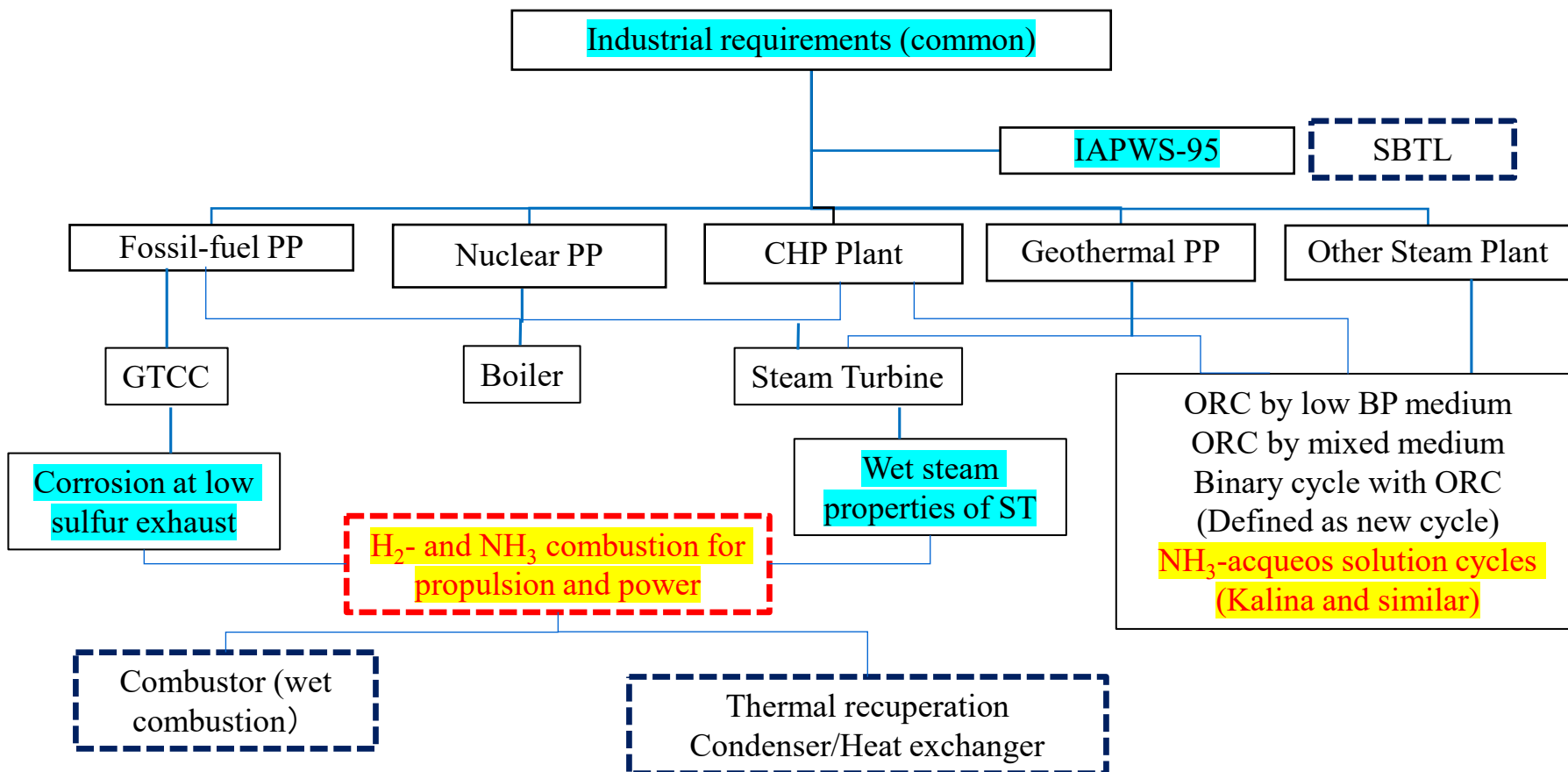


Type of formula will be  $Y = A \ln X + B$  (similar to Otsuka's).  
Possibly need other formulas of A and B (for H2O%)

# New Potential TGs to be set up (新委員長の提案)

DSC-KTP-COM-0014

Relation between each task group and field to be covered



IRS would try to collaborate with ASME and/or other groups

# Future direction of IRS-WG ( 年の結果 )

DSC-KTP-COM-0014

## ◆ Short term

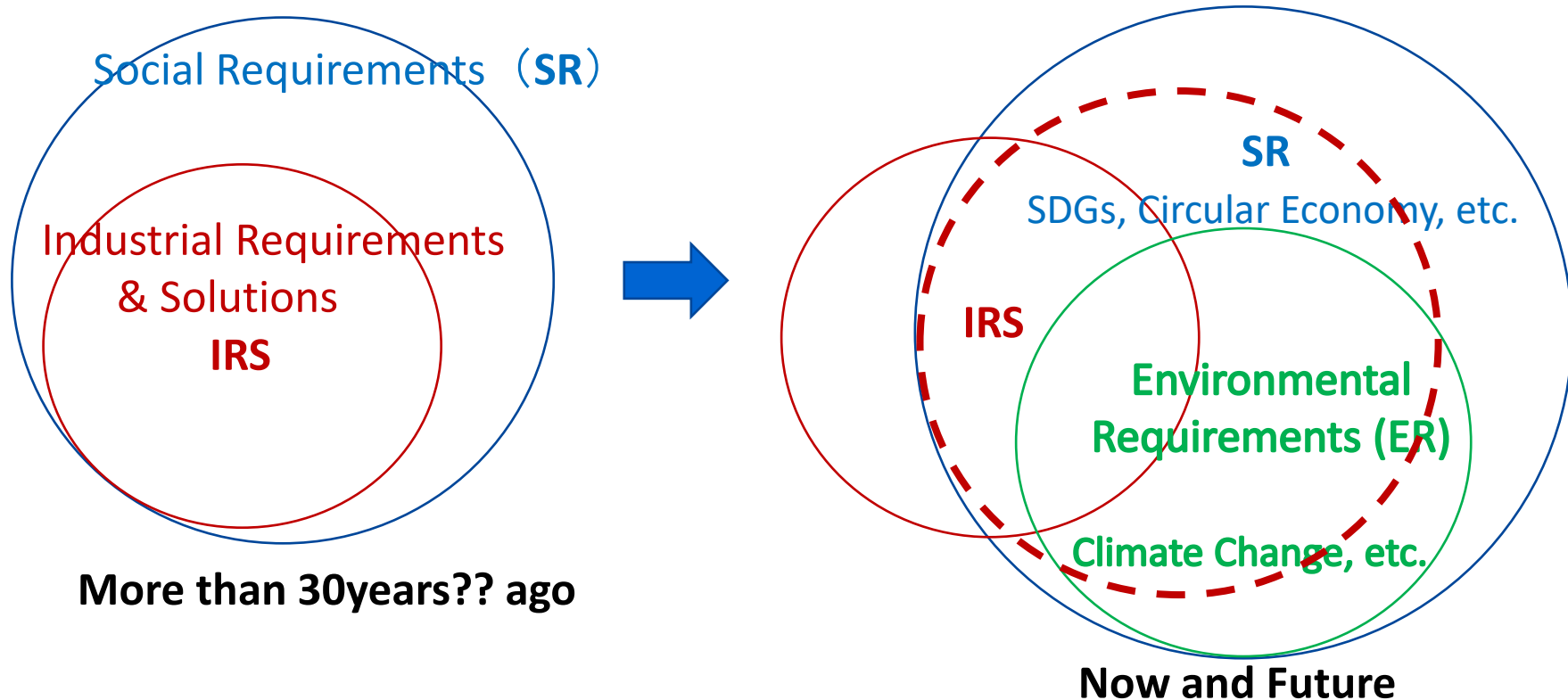
- ✓ Next industrial calculation needs for steam properties (for CFD etc.)
  - Translation of IF97 Fortran routines into other programming languages
    - TG set up for defining issues
- ✓ ICRN for acid gas dew points
  - White paper toward TGD for reliable GTCC operation against corrosion
- ✓ Discussion on wet steam data
  - Summarizing existing research and researchers
- ✓ “Categories of industrial requirements or interests” to be focused on IAPWS documentation and cooperation with ASME for H<sub>2</sub> combustion
  - Try again ASME Turbo Expo 2025 or other cooperation

## ◆ Long term

- ✓ New calculation needs for mixture with H<sub>2</sub>O and other medium for geothermal or renewables including CO<sub>2</sub> cycle, H<sub>2</sub> combustion etc.
  - “EOS-CG” is one optional EOS to evaluate collaborated with TPWS on demand
  - TG for formal guideline will be set up

Future direction was discussed within IRS meeting 2023

## International cooperations/projects/challenges for IRS



Ref. [A View on the Future of Applied Thermodynamics \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/351111111)

## Challenges on common technologies to SR and ER for future

ご清聴ありがとうございました。

今後ともIAPWSとJPAPWSを宜しく申し上げます。

**TOSHIBA**



1999 ICPWS in Canada



2024 ICPWS in USA