

日本原子力学会「水化学部会」 第25回定例研究会  
於 高松市 四国電力株式会社 総合研修所

# プラント再稼働に向けた1, 2次系 水化学管理要領への提案

三菱重工業(株)  
原子力事業部  
石原 伸夫

10.22.2015

**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.**

- 2年以上の長期保管後のプラント再稼働は数例以上あり, これまで大きな不具合は報告されていない。
- しかし, 日本では, 約4年を超える長期保管後の再稼働が多く予定されており, これらを成功させるためには, 水化学管理においても入念な準備が強く求められている。
- 川内1号機の再稼働成功を例に, 再稼働時の水化学管理要領の提案を紹介する。

北米での2年以上保管後の再稼働例

Plant	Outage Dates	Outage Duration, years
TMI-1	2/79–10/85	6.7
Bruce A Unit 3 (Canada)	4/98–1/04	5.8
Bruce A Unit 4 (Canada)	1/98–10/03	5.8
Point Lepreau (Canada)	3/08–11/12	4.7
Ft. Calhoun	4/11–	4.5
Cook-2	9/97–6/00	2.8
Davis-Besse	2/02–3/04	2.1

(Rocky Thompson et. al., 16<sup>th</sup> ENVIRONMENT DEGRADATION, 2013, Asheville, NC, USA)

日本での再稼働実績と予定(2015年10月20日時点)

Plant	Outage Dates	Outage Duration, years
川内1号機	4/11–8/15	4.4
川内2号機	8/11–10/15	4.2
高浜3号機	2/12–	3.7
高浜4号機	6/11–	4.4
伊方3号機	4/11–	4.6
大飯3号機	9/13–	2.1
大飯4号機	9/13–	2.1
玄海3号機	12/10–	4.9
玄海4号機	12/11–	3.8
泊3号機	4/12–	3.6
他11ユニット		

## 2. 管理項目のリストアップ

長期保管の影響について、これまでの約200の起動時異常事象から抽出・選別した。重要度が高いものを以下に記す。

### (1) 1次系

- 燃料のγ線線量率低下によるO<sub>2</sub>スカベンジ時のヒドラジンと酸素の反応性低下
- TOC増加によるRCP(Reactor Coolant Pump)シールおよびフィルタへの影響
- 気中保管による亜鉛被膜, 外層酸化被膜への影響

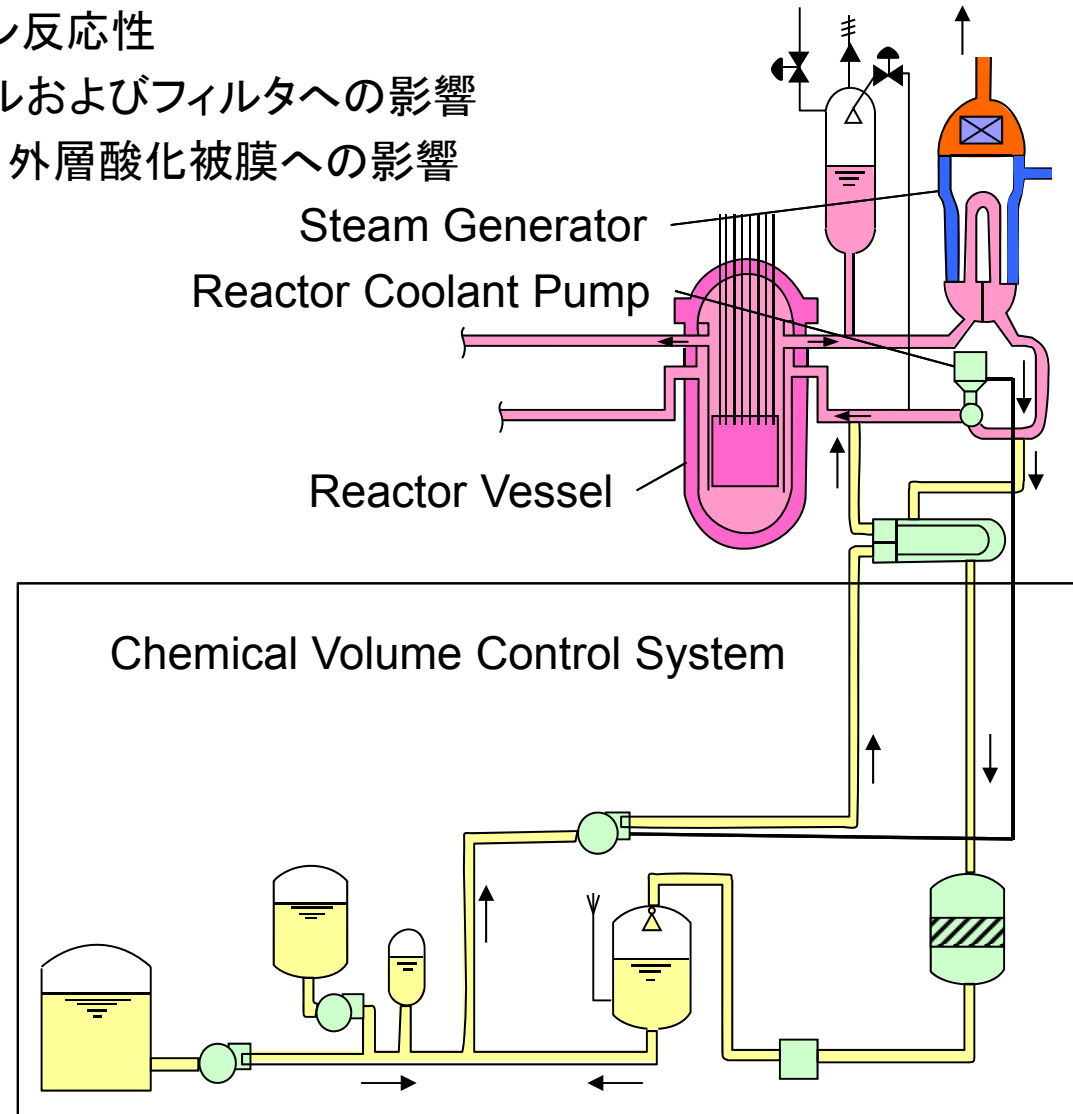
### (2) 2次系

- 腐食による錆増加。3-Loopプラントの復水・給水系統で最大7.4 kgの錆発生を見込む。
- 不純物, Na, Cl, SO<sub>4</sub>の持込増加
- TOCの持込増加
- 上記に対して, 起動前2次系クリーンアップ, 起動時浄化運転の対策を実施

### 3. 1次系の管理要領

#### 3.1 1次系系統図と主要課題

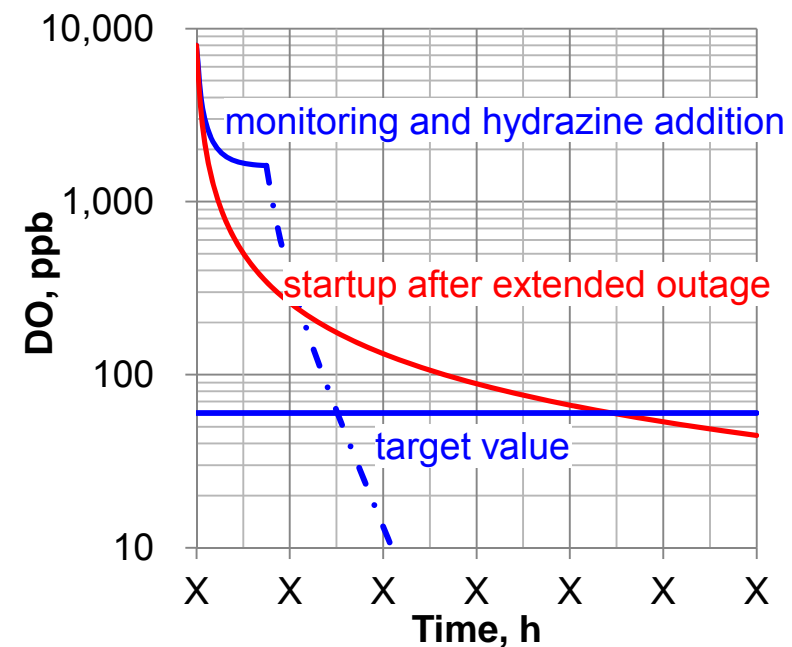
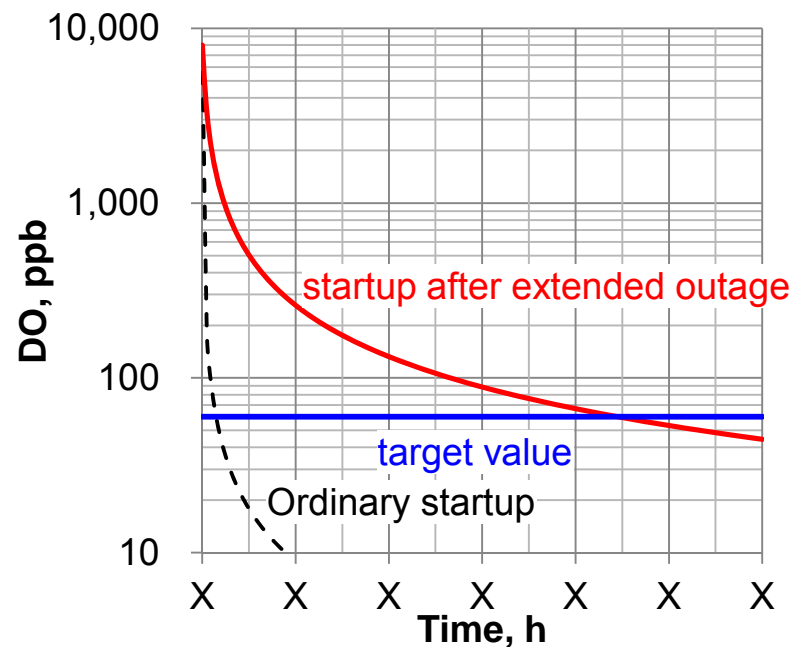
- O<sub>2</sub>スカベンジ時のヒドラジン反応性
- TOC増加によるRCPシールおよびフィルタへの影響
- 気中保管による亜鉛被膜, 外層酸化被膜への影響



### 3. 1次系の管理要領

#### 3.2 O<sub>2</sub>スカベンジ時のヒドラジン反応性

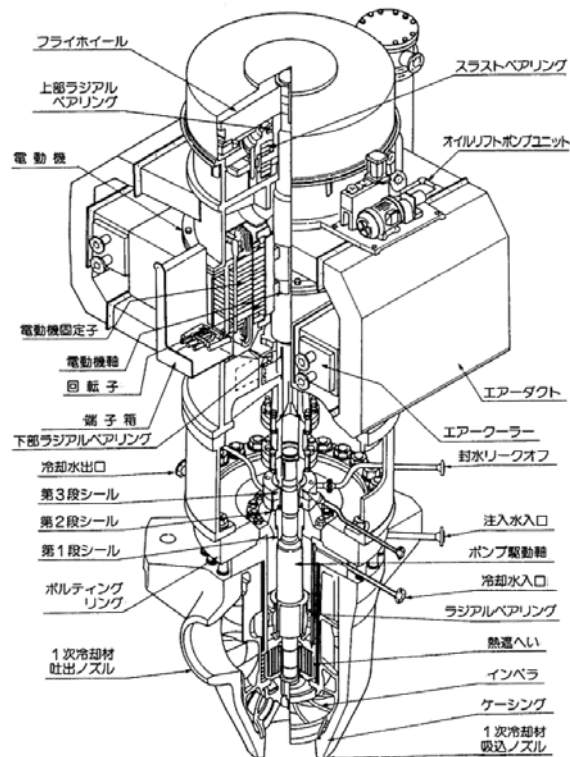
- RCS(Reactor Coolant System)ヒートアップ前の酸素除去操作
- 真空減圧, スタティックベント, ヒドラジン投入, ダイナミックベントを実施
- ヒドラジンの反応  $O_2 + N_2H_4 + \gamma線 \rightarrow 2H_2O + N_2$
- 反応は $\gamma$ 線によって加速される。反応時間は以下の通り。  
通常起動時: 1~2時間 vs  $\gamma$ 線がない試運転初回起動時: > 100時間
- 長期保管による $\gamma$ 線の減衰は, 燃料の種類や停止期間に依存
- プラント状況に対応した反応モニタ方法, ヒドラジンの追添加方法を手順化



### 3. 1次系の管理要領

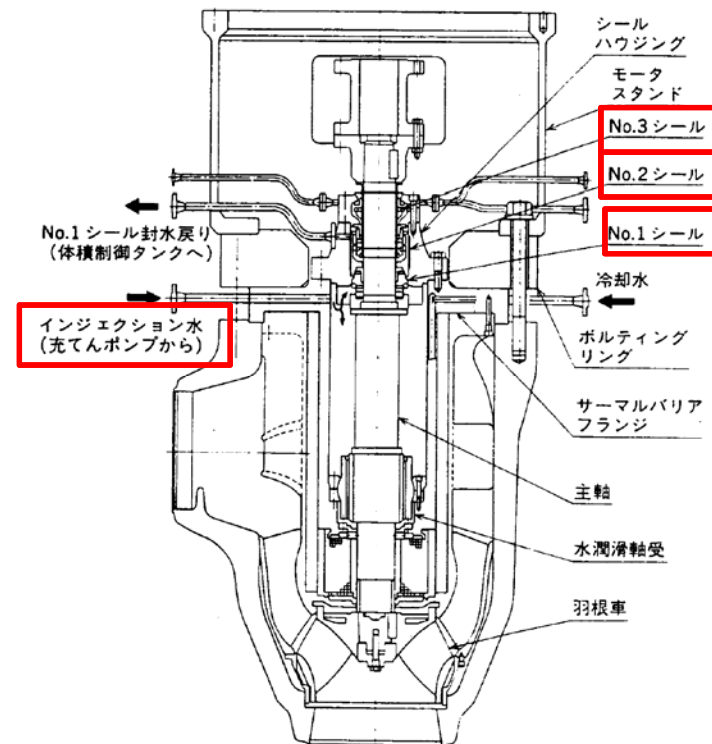
#### 3.3 TOC増加によるRCPシールおよびフィルタへの影響

- 1次系補給水のTOC濃度が上昇事例あり。要因は完全に究明できないことも多い。
- 水質悪化により、RCPシールへのTOC付着によるシールリークオフ流量変化, あるいは、フィルターの差圧上昇が発生する。
- TOCの確認, および, 対応処置をまとめている。



RCP構造図

(設置変更許可申請書より)



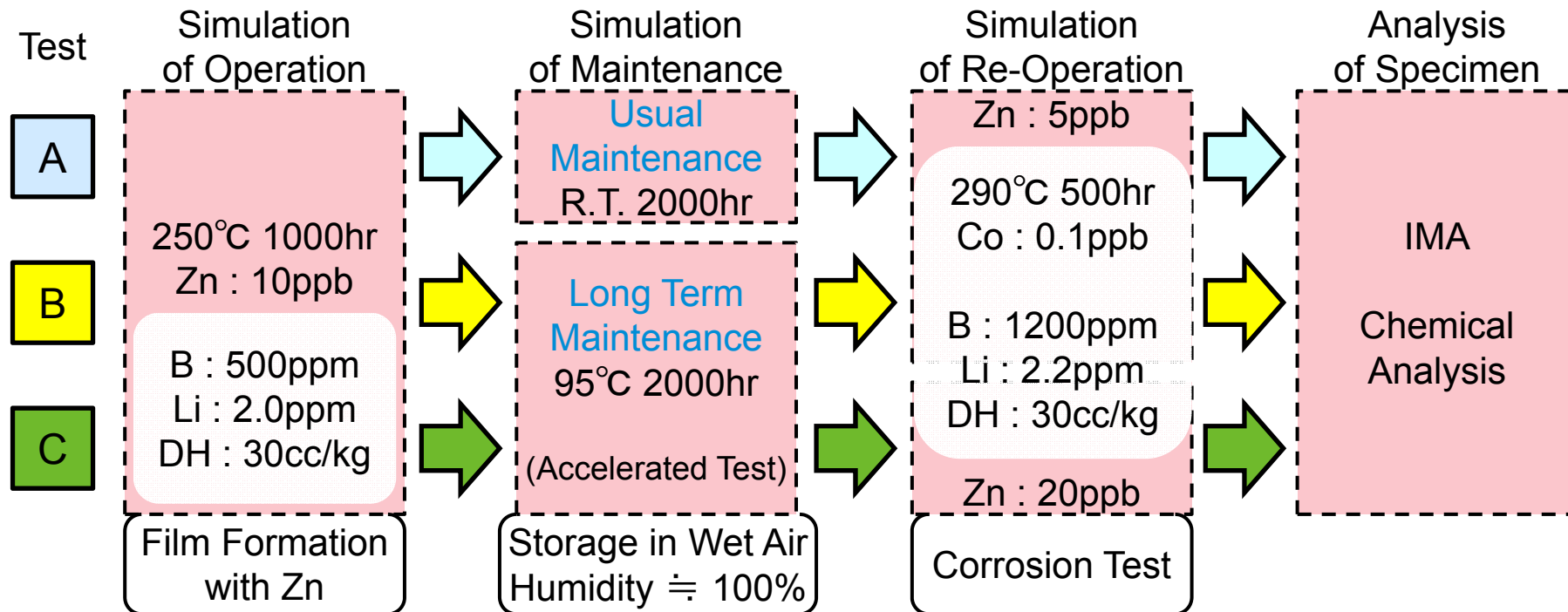
RCPの断面図

(三菱重工技報 Vol.32 No.3 (1995))

### 3. 1次系の管理要領

#### 3.4 気中保管による亜鉛被膜, 外層酸化被膜への影響(1/2)

- 通常実施しないRV(Reactor Vessel)の水抜き長期保管の亜鉛被膜への影響を試験
- 95 °Cの湿り気中で劣化加速された試験片Bと加速なし試験片Aを比較



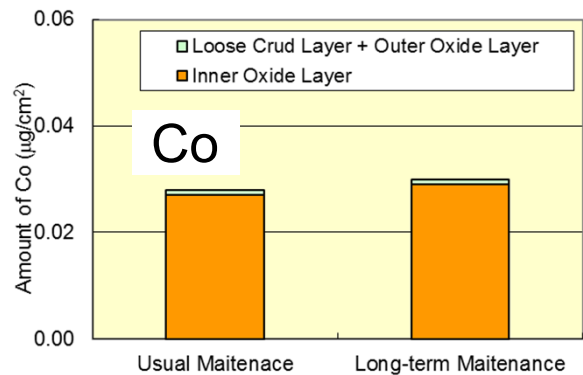
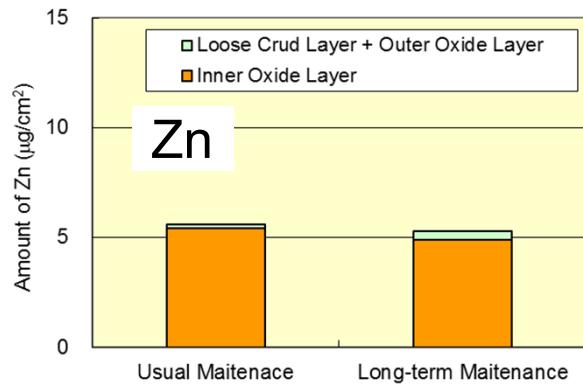
長期保管試験の流れ

(Atsushi Hirose et. al., NPC 2014, Sapporo, Japan, No. 10198, Oct. 2014 )

### 3. 1次系の管理要領

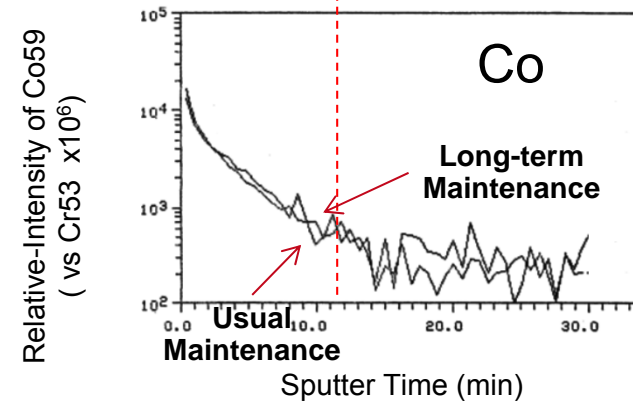
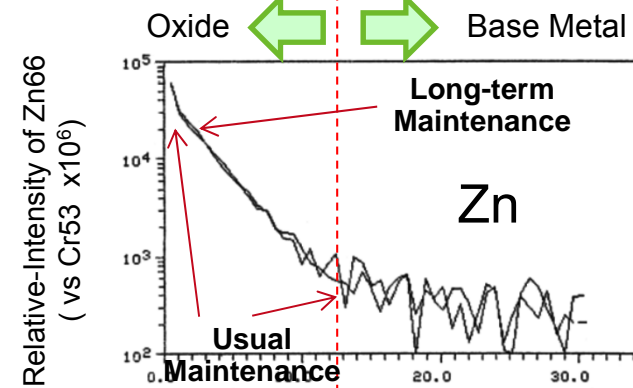
#### 3.4 気中保管による亜鉛被膜, 外層酸化被膜への影響(2/2)

- 試験により長期気中保管の影響はほとんどないことを確認
- 念の為, 起動中の1次系水をサンプリングし, 起動時の酸化被膜剥離挙動の監視を提案



Simulation Test

The Amount of Zn, Co in the Oxide



The Depth Profile of Zn66, Co59

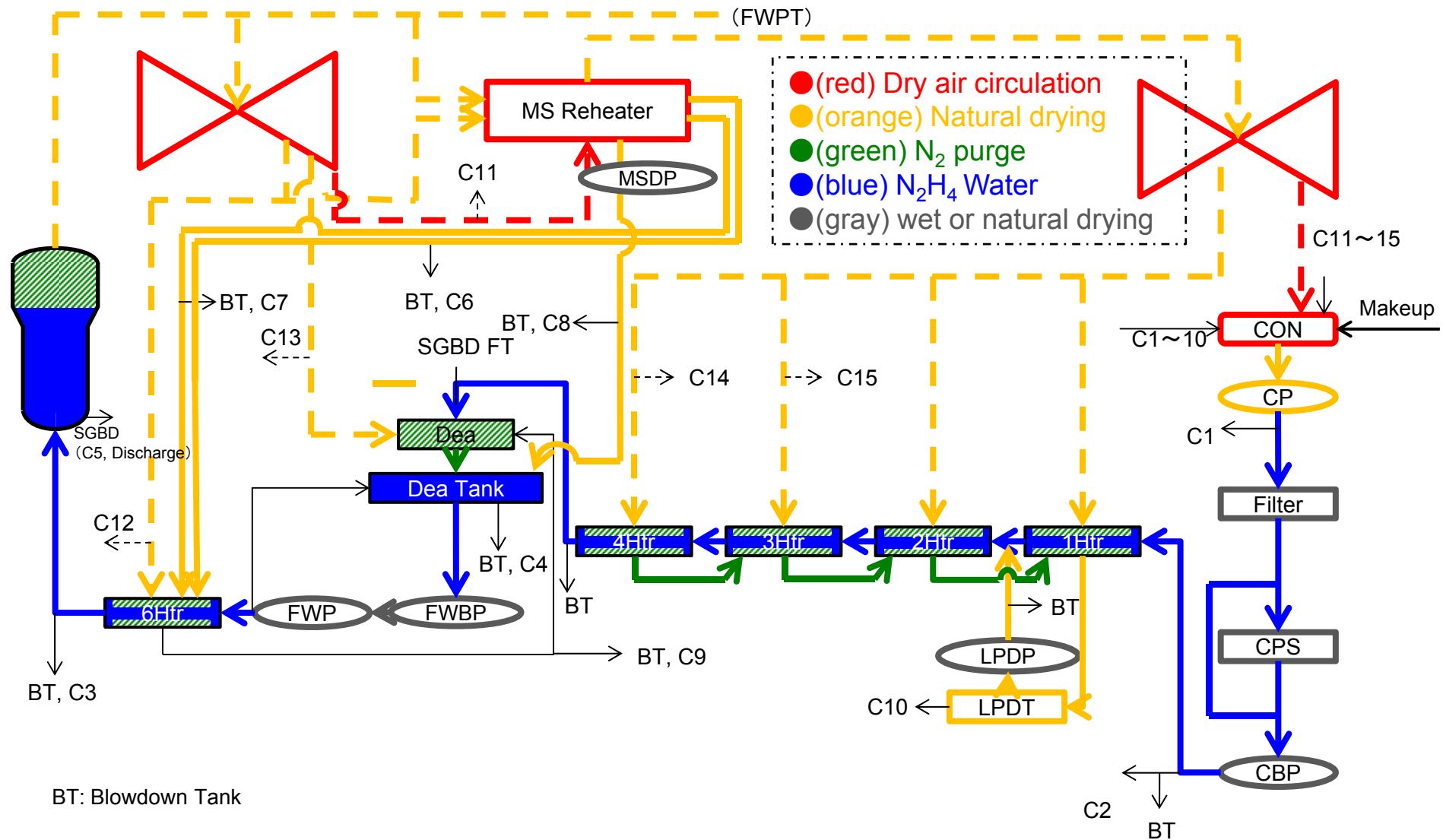
通常定検と長期保管を模擬した試験片の比較

(Atsushi Hirose et. al., NPC 2014, Sapporo, Japan, No. 10198, Oct. 2014 )



# 4. 2次系の管理要領

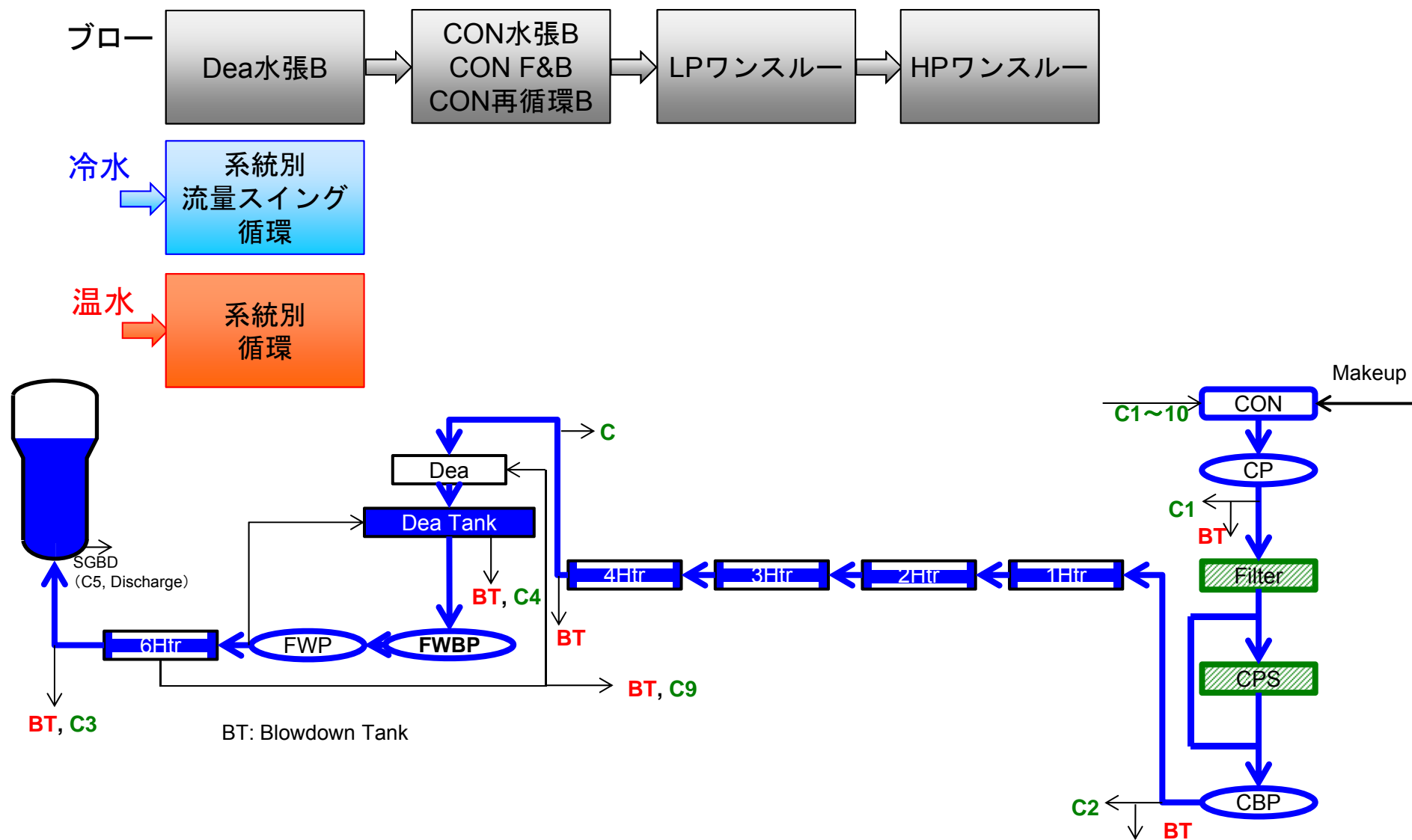
## 4.1 2次系系統図と保管方法



(Nobuo Ishihara et. al., NPC 2014, Sapporo, Japan, No. 10178, Oct. 2014 )

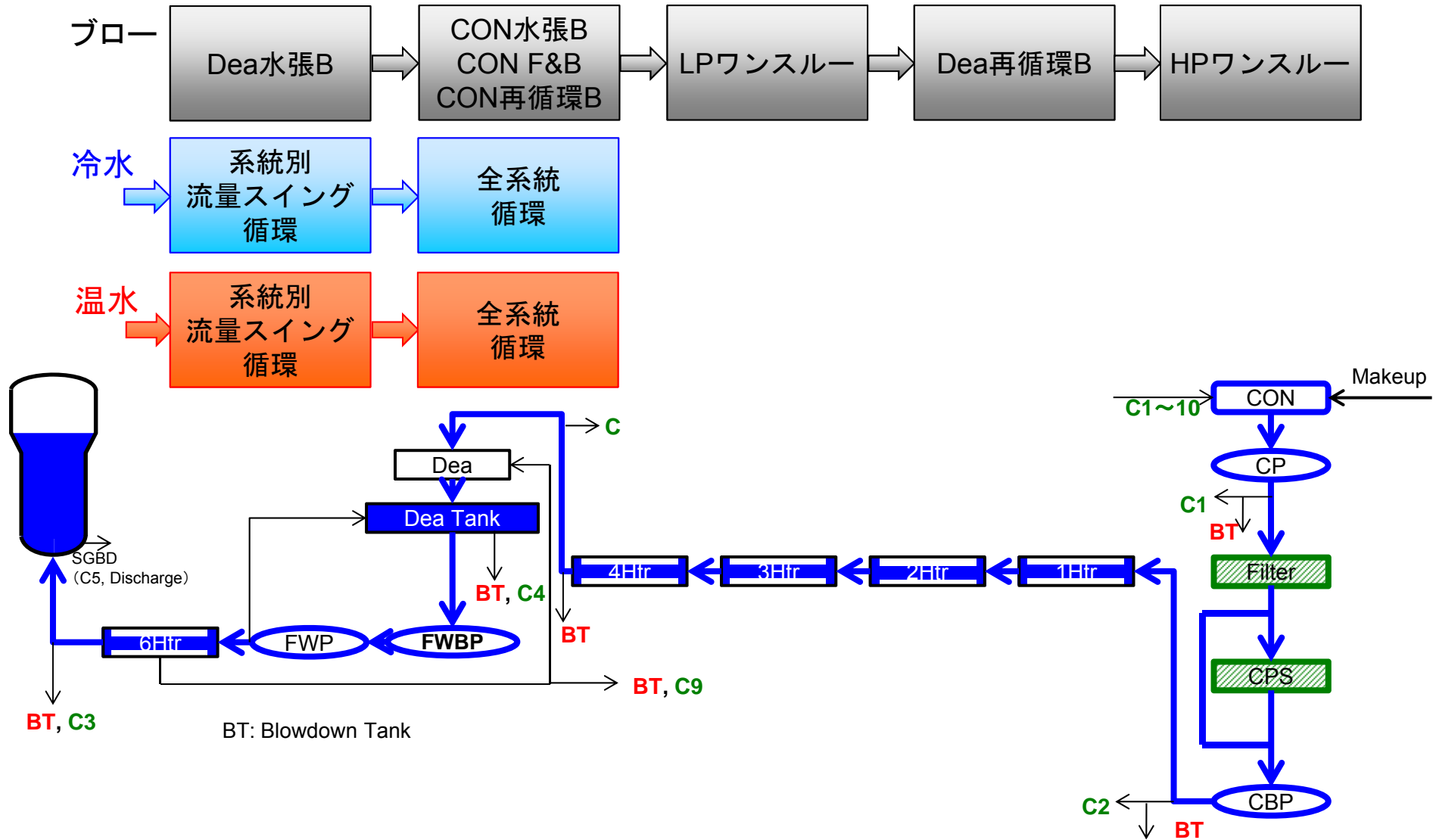
# 4. 2次系の管理要領

## 4.2 クリーンアップ方法(1/2) 通常方法例



# 4. 2次系の管理要領

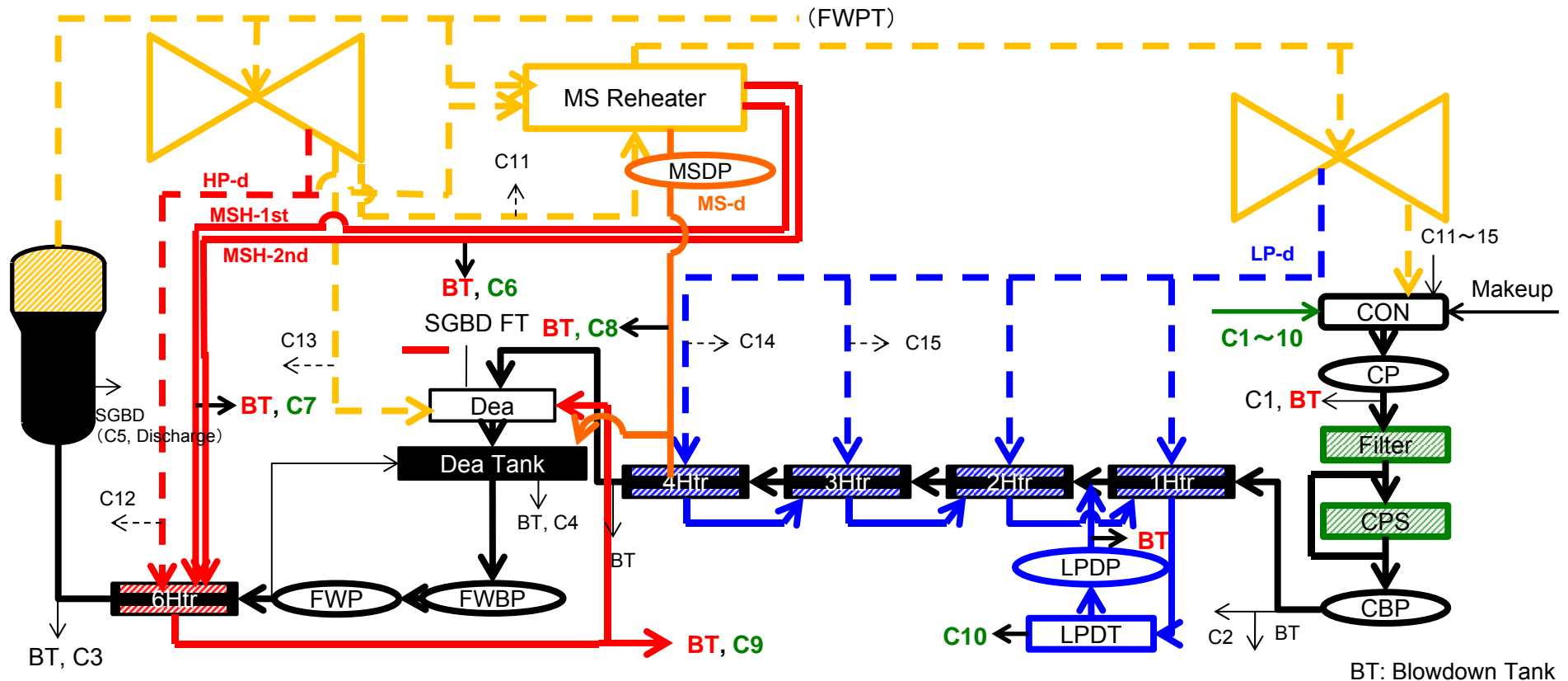
## 4.2 クリーンアップ方法(2/2) 長期保管後の方法例



## 4. 2次系の管理要領

### 4.3 起動時浄化(1/3)

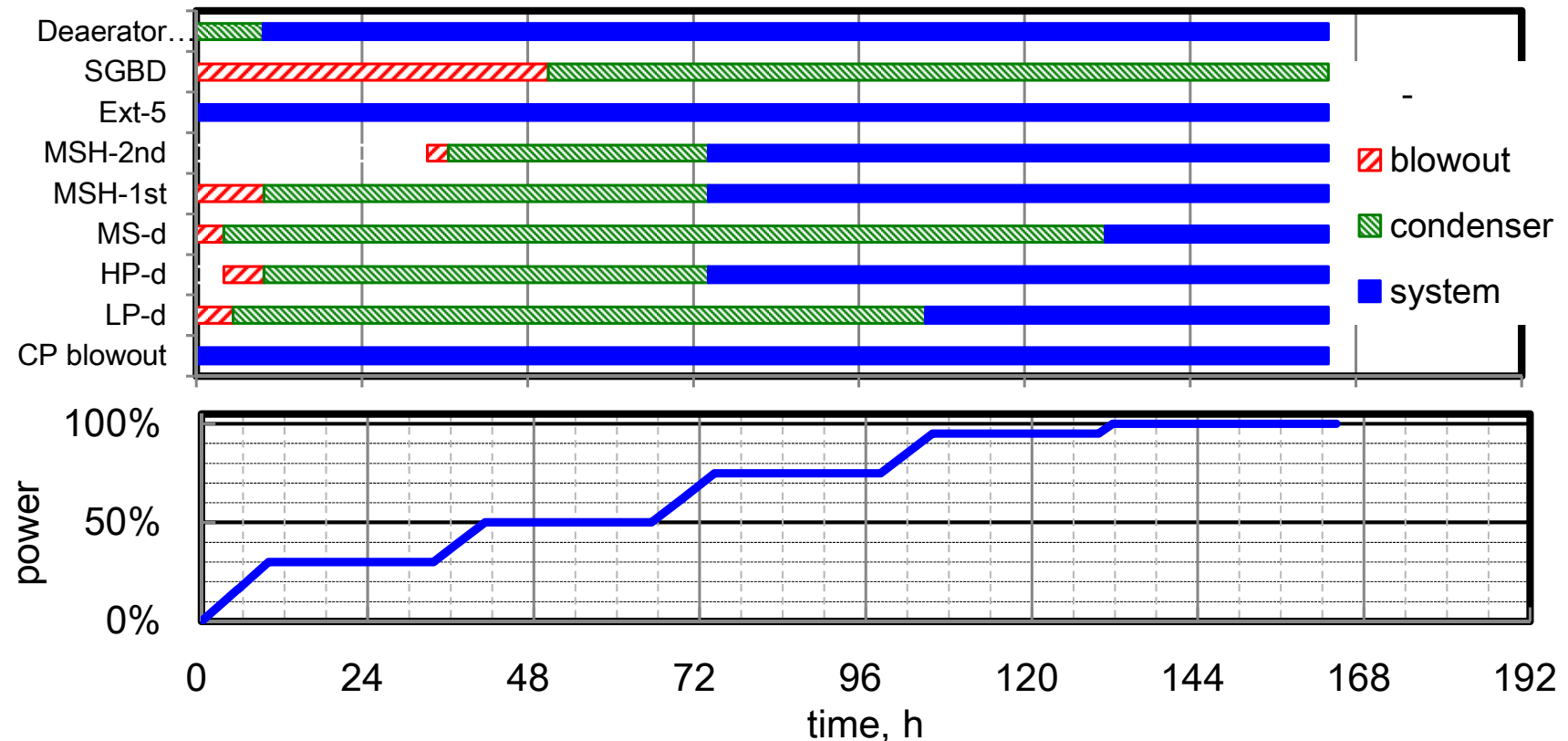
- 蒸気系, 抽気・ドレン系は起動時に蒸気が流れた時に初めて浄化開始される。
- これらは, 最初に系外にブローダウンし, 次に復水器に回収してフィルター, 復水脱塩装置を通して浄化し, 浄化が進んでから系統に戻される。



## 4. 2次系の管理要領

### 4.3 起動時浄化(2/3)

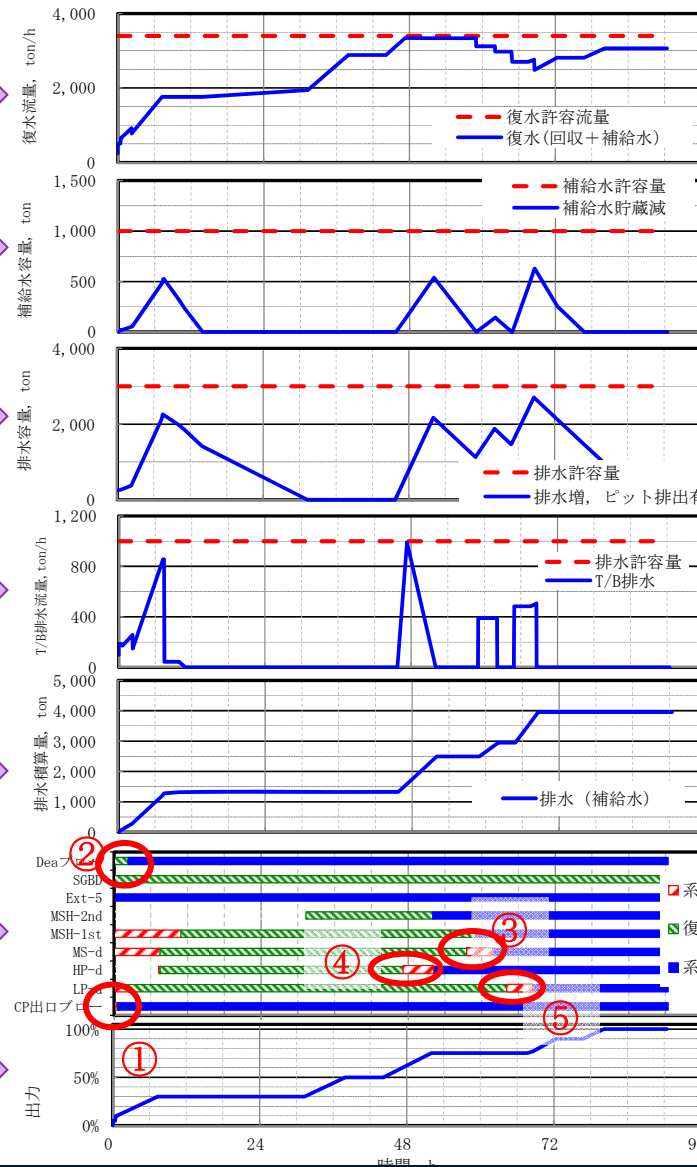
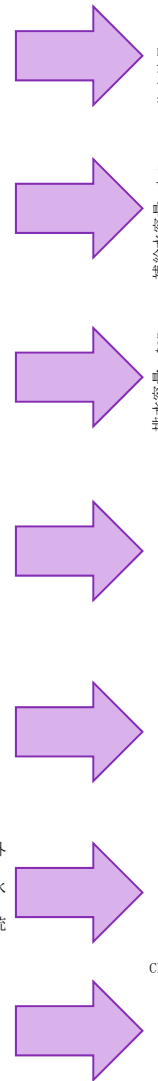
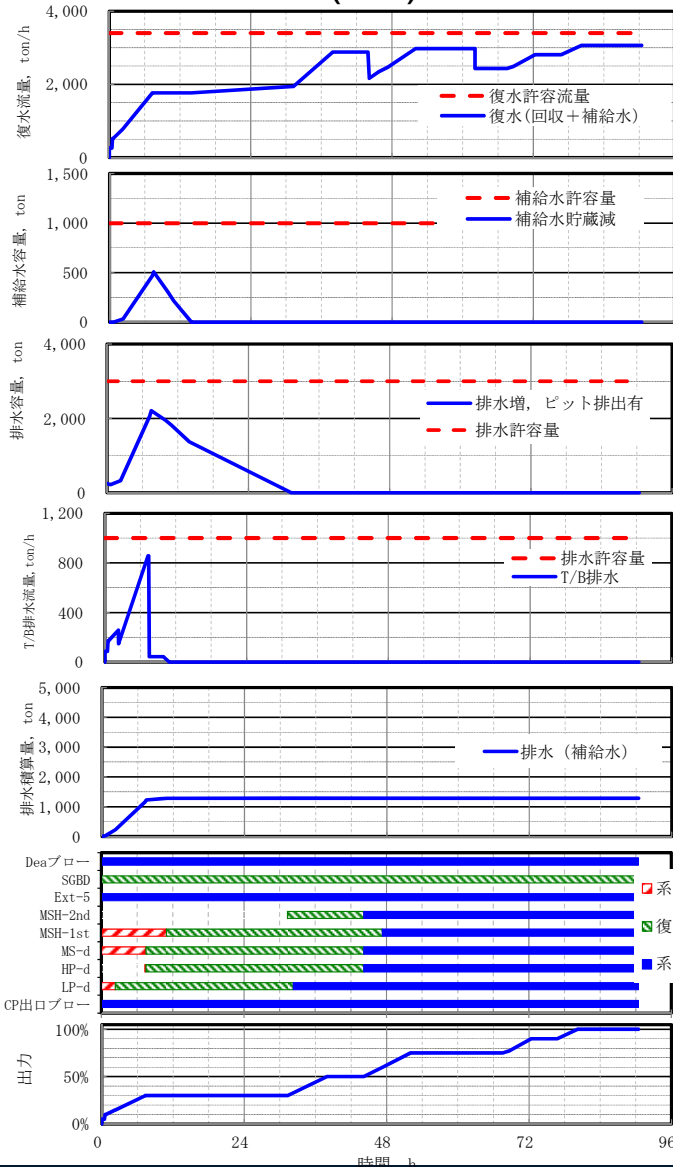
プラント起動時のドレン運用は系外ブロー⇒復水器回収⇒常用回収と移行



系外ブロー: ドレン水を2次系ブローダウンタンクを經由し、系外に排水される  
 復水器回収: ドレン水を復水器へ回収し、復水フィルタや復水脱塩装置で浄化する  
 常用回収: ドレン水を通常運転時の回収先に回収する

# 4. 2次系の管理要領

## 4.3 起動時浄化(3/3)



復水ポンプ流量を評価  
(定格流量上限を考慮)

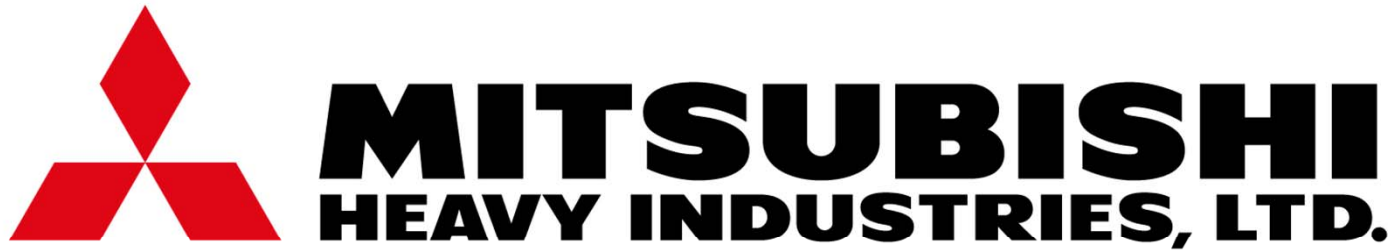
補給水使用量を評価

排水ピット許容量を評価  
(排水能力上限を考慮)

排水流量を評価

総排水量を評価

系統切替タイミング  
(赤丸: 主な変更点)



Our Technologies, Your Tomorrow

A red graphic element consisting of a horizontal line that tapers to a point on the right side, resembling an arrow.