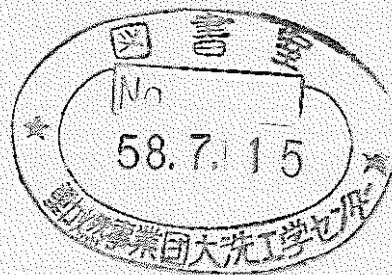


50MW蒸気発生器試験施設計算機応用(II)

—Na-水反応小リーク自動判定装置の開発と実証試験—



1982年4月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N 941 82-112
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

50 MW蒸気発生器試験施設 計算機応用 (I I)
— Na-水反応小リーク自動判定装置の開発と実証試験 —

玉山 清志

要 旨

高速増殖炉の運転に於ては蒸気発生器のナトリウム中への水リーク、それより派生するナトリウム・水反応を検出することは非常に大切である。この為に開発したナトリウム・水反応小リーク自動判定装置について前回の報告書“50 MW蒸気発生器試験施設計算機応用(1)”に述べたが、その後さらに改良、発展させて実証試験を行った。

本システムは小リーク自動判定装置と中リーク自動判定装置の2つの機能からなり、この2つを併用することによって可能なかぎり早期にかつ微少な水リークを検出し警報を発生させ運転に必要な情報をCRTに表示することが出来る。試験は水リークの代わりに水素あるいは水をループに注入することによって行った。

試験結果より下記結論を得、本システムの有効性を確認した。

1. 非常に微少なリークを検出出来ること。
2. 警報遅れ時間が妥当な範囲内であること。
3. リーク率計算表示が正確であること。

April , 1982

Computer Application Techniques at 50MW Steam Generator Test Facility (II)

Development and application test of a automatic
detection system of a sodium - water reaction

Kiyoshi Tamayama*

Abstract

It is very important for the steam generator of FBR to detect water leakage in sodium by which sodium reacts to water.

Succeeding preliminary report "Computer Application Techniques at 50MW Steam Generator Test Facility (I)", in this paper further development and application test of a automatic detection system of a sodium-water reaction are discussed.

This system consists of small scale and middle scale detection system, and with combination of the two system the system can detect very small scale reaction and display informations for operator on cathode ray tube with alarming as soon as practicable.

For the test some Hydrogen and water injection method instead of the real leakage of tube are adopted.

Following conclusions are obtained as the results of the test and availability is confirmed.

- 1). Very small scale leakage can be detected
- 2). Time delay for alarming is in reasonable range
- 3). Leak ratio is correctly computed

* Dynamic Analysis Section, Steam Generator Division, O-arai Engineering Center, PNC.

目 次

1. 概 要	1
2. 水リーク自動判定装置	3
2.1 小リーク自動判定装置の原理	3
2.2 中リーク自動判定装置の原理	4
2.3 ハードウェア	5
2.4 ソフトウェア	7
3. 実証試験	11
3.1 警報遅れ時間	11
3.2 リーク率計算結果	12
3.3 定常時性能	12
4. 検 討	19
5. 結 論	21
6. あとがき	22

目 次

表 3.1	注水・注水素試験時警報遅れ時間	15
表 3.2	注水試験リーク率計算	16
表 3.3	水リーク警報誤警報調査一覧	18

目 次

図 2.1	水リーク自動判定装置ハードウェア図	8
図 2.2	小リーク自動判定装置プログラム関連図	9
図 2.3	中リーク自動判定装置プログラム関連図	10
図 3.1	リーク発生から警報発生まで	14
図 3.2	リーク率の比較	17

1. 概 要

高速増殖原型炉“もんじゅ”においてはそのナトリウム加熱蒸気発生器の伝熱管破損によるナトリウム中への水漏洩に対しては運転上十分な配慮をなさねばならない。その漏洩量の規模により、大リーク・小リーク等に分けられるが、ここでは小リークの早期発見およびその後の運転操作の指針となる漏洩規模の表示を目的とした水リーク自動判定装置について述べる。本装置は水素計等を入力としたプラント計算機によりなっている。ナトリウム・水反応の検出器センサーとしてはイオンポンプを主体としたナトリウム中水素計とカバーガス（Ar）中水素計を主に用いている。実験的に電気化学式酸素計も設置されているのでそれらを本装置の入力とした。音響計については原理的には応答が早い、位置標定の可能性があるといった点から将来有望と考えられるが現在の所は計算機入力として利用出来るまでには致っていない。小リークにおいて最も重要な点は放置しておくで破損伝熱管の隣接伝熱管をウェステージにより次々と破損伝播させてしまう点にある。このため小リークであると判断された場合は、すみやかに自動または手動にて隔離して蒸気発生器内の水・蒸気を窒素へ置換する必要がある。

特に小リーク領域以下の水リークに対しては運転操作上での判断を必要とし、そのための的確な情報を表示する必要がある。例えばナトリウム中水素計の指示上昇を発見し緊急停止（水側隔離）を行なったとすれば、伝熱管破損位置が蒸発器内であるか過熱器内であるか判別出来ない場合が考えられる。その場合には補修作業上、蒸発器も過熱器も点検せざるを得なくなり無駄な作業を行うことになる。実際に一番問題となると考えているのはウェステージによる隣接伝熱管の破損が発生する場合と、セルフプラグによって補修作業時に破損位置が明確に出来ない場合の相反する状況が予想されることである。運転操作上この2つの問題が発生しない時点で隔離するのが望ましいと考える。水リーク自動判定装置の利用方法を直感的に把握しやすいように想定した運転操作過程の1つの例を述べると、まずリーク自動判定装置の警報により水リークの徴候を知る。2次ナトリウム流量の減少を目的として負荷降下を行う。これによりセルフウェステージによるステップ状のリーク率増大に対して水素計の応答が明瞭になるとともに蒸気発生器内のナトリウム流速が減少するため水素気泡の上昇が起りやすくカバーガス中水素計の応答によりどちらの蒸気発生器でリークが起っているかが判断出来る。もし微小リークではあるが明らかに水リーク発生であると判断された場合は降温操作を行ない200℃等温とする。ナトリウム温度が低いと隣接伝熱管の損耗は起りにくく蒸気発生器隔離までの余裕時間はかなり長くなる。リーク量が増大した場合は、本装置により上位の警報が発生するので、その時点で即時蒸気発生器隔離を行なわなければならない。

本装置は機能的に小リーク自動判定装置と中リーク自動判定装置と名付けた2つの部分に分けられるが前者はすでに報告してあり、後者は新たに開発したものである。本装置の基本的な事項については前報告書¹⁾を参照にさせていただくとともに水素挙動関連の一般的な事項は、他報告書^{2), 3), 4), 7), 8)}にあり、50 MW 蒸気発生器試験施設計算機システム^{5), 6)}についても別報告書がある。

本報告書では第2章で本装置の原理，ハードウェア，ソフトウェアについて述べる。小リーク自動判定装置については前報告書（第11章）と説明が重複している所がある。また水素計，計算機に関する一般的事項については他報告書を参照されたい。

第3章では当施設における注水素試験注水試験等に適用した実証試験の結果について述べる。その後の章にて，検討，結論を述べる。

各種試験の実験方法，実験データ，解析結果は他報告書に詳しいのでそれらを参照していただきたい。^{2), 4), 8)}

2. 水リーク自動判定装置

本章では水リーク自動判定装置の原理とハードウェア、ソフトウェアの説明を行う。本システムは小リーク自動判定部分と、中リーク自動判定部分の2つに分れており、前者は、低漏洩率に対応出来るが応答時間が長く、後者は低漏洩率には対応出来ないが応答時間は早いという特徴をもっている。

2.1 小リーク自動判定装置の原理

2次ナトリウム系内の水素濃度の増減に影響を与える事項には伝熱管からの水リーク以外に伝熱管からの拡散水素量とコールドトラップによる水素除去が掲げられる。水素計指示から水リーク寄与分の水素濃度上昇率（水リーク率）を算出する。計器やシステムにより発生されるノイズ分に影響されない最低の値をそのリーク率に対する警報設定値とすれば最速、最高感度の警報装置となる。ノイズ源として主なものは水素計のイオンポンプ電流のゆらぎ、水素計の膜温度の変化によるゆらぎなどがある。これらの点をふまえた小リーク判定装置の動作原理は次の様な①から⑤までのステップを追った方式となる。

① データ収集及びノイズ除去

水素計からのイオンポンプ電流をアンプを介して計算機のプロセス入力装置に接続する。当施設では主に0～10 mVの電圧信号である。1秒ごとにサンプリングして21回サンプルする。ノイズ除去のため21個のデータを値の大小順に並べ直し大きいデータ5個と小さいデータ5個を除き、中間の値の11個のデータの平均値をとりその回のサンプル値とする。

② 工業値変換

入力されたデータはA/D変換されて、その意味は0～100%である。デジタル入力であるレンジ信号よりフルスケールを判断し、一担 μ A単位に変更する。これをさらに較正試験で得られている係数を用いた計算により水素濃度（ppb）を得る。

③ 正常時の水素濃度変化計算

最終的には④で述べる始点から現時点の平均水リーク率を求めるのが目的であるが、その前処理として精度を上げる必要性から蒸気発生器伝熱管からの拡散水素とコールドトラップによる水素除去を考慮に入れ水漏洩のない場合のその期間での水素濃度変化を計算する。

④ 水リーク率の計算

②で求めた水素濃度から、始点から現時点までの見かけ上の水素上昇率を求め、それから③で求めた正常時の水素濃度変化を差し引いて水リーク率を算出する。これらを各水素計各々について行う。現在計算周期は60秒としている。

⑤ 警報発生ロジック

マイクロリーク検出においては、水素計の各種ノイズによる誤警報を発生しない様になければならない。50 MW 蒸気発生試験施設でももんじゅでも2次ナトリウム冷却系には、5基以上

の水素計/酸素計が設置される。このため、一基の水素計が若干の指示上昇をしても警報を発生せず、そのかわり数基の水素計が微小であっても同時に指示上昇する場合には警報を発生する方式をここでは採用した。二段の閾値論理機構とし第一段では各水素計に対して5レベルの設定をもった閾値により判断し、結果を決められた点数というもので表わす。第二段の閾値論理ではその結果(点数)をすべての水素計・酸素計に対して合計しその合計点数に対して設定を決め、最終的な判断をし警報を発生し運転員にリークの発生を知らせ警戒体制に入る。現在は警報レベルは「微」「弱」「中」「強」「最強」の5段階とした。これは実験的意味があるので多段階としたが中リーク警報もあり2～3段階程度でよい。

2.2 中リーク自動判定装置の原理

前節の小リーク自動判定に対し、微小リークは検出出来ないが応答遅れの少ない方式を開発した。方式が2手法並用となったため前節の方式と区別するため便宜上中リーク自動判定装置と名付けたが、必ずしも一般に言われている中リーク領域とは一致していない。警報発生領域は水素計のノイズとの関係で下限が押さえられ、また主系統内ナトリウムインベントリやナトリウム主流量に大きく依存するので50 MW 蒸気発生試験施設、もんじゅ、実証炉とプラントスケールが変化するごとに検出出来る下限も変化する。本方式は基本的には上昇率警報であり特長的なものは2次ナトリウム主循環系の一循環時間前の水素濃度と比較してその上昇率を計算するものである。これはナトリウム系を一循する同じナトリウム中での水素濃度を見ており急激にリーク率が変動した時など同じナトリウム主系統内での水素濃度が不均一になった場合にもその影響を最小に出来、誤判定を一番避けうるからである。中リーク自動判定装置の手順は次の通りである。

① データ収集及び工業値変換

この部分は基本的には小リーク警報と同様で、アナログ入力としてイオンポンプ電流を入力しレンジ信号をデジタル入力する。A/D変換されたアナログ信号は、0～100%の意味をもち、デジタル信号のレンジ信号より判別して、イオンポンプ電流(μA)の単位に変換する。校正曲線の係数を用いて、ナトリウム中水素濃度(ppb)に換算する。

② 一循環時間前のデータの記録

工業値変換されたデータを毎秒サンプルし10回分のデータを得たらそれを大小順に並べ中間の値5ケのデータのみを取り出しその平均をとる。これを10秒ごとに実行しデータを主記憶装置上に記録する。この保存データ領域は、50回分すなわち500秒前まで残る様にした。これは2次系の流量が定格の30%の場合の一循環時間まで含む様にしたためである。

③ 水素計の上昇率の計算

2秒前、1秒前、現在とサンプルした3回分の水素濃度の平均値をその秒の水素濃度とする。毎秒アナログとして2次ナトリウム主流量G(T/H)(F12002)を入力し工業値変換する。2次主系統の一循環に寄与しているナトリウムを27.2³⁾トンとすると10000/G回前の記憶デー

タを見れば一循環時間前の水素濃度と比較できる。(正確には、 $27.2/G(\text{hour})$ 前 = $27.2 * 3600/G$ 秒前 = $97920/G$ 秒前 $\approx 10000/G$ 回前となる) 3回平均した現時点の水素濃度を C とし、一循環時間前の水素濃度 C_s とすれば上昇率 R は、次の通り。

$$R = \frac{C - C_s}{C_s} \quad (2.2.1 \text{式})$$

④ 上昇率の合計による警報発生

各水素計の上昇率 R のうち正の値を採るもののみの合計しそれに対し設定を越えた場合警報を発生する。これも小リーク判定と同様に一応5段階の警報レベルとしたが、リーク時運転法が明確になった時点で減らす事はかまわない。水リークが発生するとナトリウムの流れにそってリーク位置に近いナトリウム中水素計から順番に指示上昇を開始する。この合計する方法を用いれば順次軽い警報から発生し各水素計がすべて指示上昇することによりリークは確実に発生したと判断され重い警報へと移行してゆく。

カバーガス中水素計に関してはナトリウム温度が 350°C 以上の時は計器除外をし、上昇率の合計計算に含めないこととした。しかしソフトウェア製作後の実証試験により計器除外をしない方がよいと考えている。これはソフトウェア設計時には 50 MW 蒸気発生器試験施設の過熱器下部主配管への注水試験等からの結果よりナトリウム温度が 350°C を越えるとほぼカバーガス中水素計では検知出来ない(水素がナトリウム中に溶け込みカバーガス中へ移行しない)の結果が出ていたためである。しかしその後の蒸発器アニュラス中への注水試験においてはほとんどの場合カバーガス中水素計で検知出来ている。基本的には指示上昇をしない条件ではその計器を除外すべきであるが、今後の水リーク時の水素挙動の検討の結果により決定すべきである。

2.3 ハードウェア

小リーク及び中リーク自動判定装置に必要な計算機を中心としたハードウェア機器の説明を行う。これらの概略を図 2.1 に示す。

(1) プロセス入出力装置

プラントからのデータとプラントへの出力について述べる。

(1-1) 水素計

各水素計ごとにアナログ入力1点、デジタル入力数点が必要である。イオンポンプ電流がアナログ入力であり精度は 0.5% 程度である。デジタル入力は水素計に設備されているレンジ選択の個数だけ必要である。可能であれば BCD (Binary Coded Decimal) 化すればデジタル入力の点数は節約出来る。

(1-2) 酸素計

もんじゅでの設置は明確化されていないが 50 MW 蒸気発生器試験施設では、試験的に設置したのでこれも自動判定装置の入力とした。現在の方式であると原信号と表示信号の2点のア

ナログ入力とレンジ信号に対応して4点のデジタル入力が必要となる。

(1-3) その他のアナログ入力

2次ナトリウム主流量が一循環時間計算用、コールドトラップ流量とコールドトラップ制御温度の2点がコールドトラップによる系内水素濃度降下の計算に用いられている。

(1-4) その他のデジタル信号

現在は、試験のため本機能は常時作動させているが実際は蒸気発生器通水以降のみ必要である。その判別のため蒸気発生器入口給水遮断弁閉のデジタル信号を入れ、それをもって本プログラムの起動・停止を行なわせると良い。

(1-5) 警報出力

運転員の注意を喚起するため、水リーク時にはアナウンシャータを点灯しベル又はブザーを鳴らす。このため計算機側から無電圧リレー出力を行う。

(2) 計算機システム

一般的な制御用計算機システムであれば本システムは導入可能である。その機能について述べる。

(2-1) 計算機本体

制御用ミニコンシステム一式が必要である。主記憶装置は32KB程度あれば良いだろう。最近のミニコンシステムは機能も豊富で処理速度も速いので本リーク判定機能だけでは不経済である。50MW蒸気発生器試験施設の現在のPANA・FACOM U-400システムも本機能以外に多くの機能を有しており、他のプラントにおいても同様に多くのプログラムで一台のミニコンを利用することになる。このためオペレーティングシステム(モニター)も大きくなっており必要な主記憶装置の容量もそれによって大きく左右される。

(2-2) オペレーティングシステム

一般的な制御用のオンライン・リアルタイムでプログラムを走らせることの出来るマルチタスクシステムが好ましい。データ収集のための定周期のアプリケーションプログラムの起動機能や各プログラムの多重並行処理機能が必要である。

(2-3) CRT及びキーボード

警報発生時の表示のためのCRT装置や、較正曲線の係数や各設定値の変更のためのキーボード装置が必要となる。

(2-4) 磁気テープ装置

水リーク時データ収録のために必要となる。万一リークが発生し、その後の補修工事としては少なくともリーク位置の確認と破損伝熱管のプラグの作業は行なわなければならない。そのためにはリーク発生時の各水素計の挙動及び水素計間の指示上昇の関係によってリーク位置の概略は推定出来、重要な手掛りになるのでデータ収録は必要な機能である。

2.4 ソフトウェア

本システムは 50 MW 蒸気発生試験施設の PANA - FACOM U - 400 ミニコンシステムで実際に稼動している。一般に制御用ミニコンにおいて、そのアプリケーションソフトウェアの構造は、ハードウェアアーキテクチャやオペレーティングシステムの機能によって非常に変化し各社に共通のソフトウェアの作成はむずかしい。そのため当施設で実際に作動しているプログラムの構造の概略についてのみ述べる。図 2.2 に小リーク自動判定装置のプログラム関連図を示す。この中で SM-PLC と名付けたプログラムが毎秒起動され水素計データなどをプラントから取り入れている。LKDTS においてデータの平均化処理などをして水素濃度計算値をコアファイルに出力する。LKC-HK が小リーク自動判定の中心的論理部分を演算して表示や警報出力を行なっている。SMPLC は IPL 時（計算機システム起動時）に起動される TMINT により起動される CYTIM によって 1 秒ごとの起動要因が与えられるので常時動作している。CRT のキーボードのファンクションキー (FK) を押すことにより KRMAP が起動され小リーク判定プログラムの LKINT が動作する。LKINT により LKDTS は 1 分後から 1 秒ごとに毎秒起動され、LKCHK は 1 分 30 秒後から 1 分ごとに毎分起動される。LKINT により警報設定値や水素計校正曲線のパラメータがコアファイル上に設定される。FK を押す際のキーボードからの入力パラメータの値によっては MHYJ 1 が起動され CRT 画面への表示が行なえる。

図 2.3 が中リーク自動判定装置のプログラム関連図である。基本的構成は小リーク自動判定と同様の考え方である。水素計等のデータ収集プログラム SMPLC は小リーク判定の時のものと同一である。CRT の FK からの起動されるプログラム KRMAP も同一で、キーボードから入力されるパラメータの値により中リーク起動プログラム MLKIT が起動されそれにより毎秒 MLKTK が起動される。この MLKTK が中リーク自動判定装置の論理演算部分でデータの平均化や上昇率計算を行なっている。水素濃度の工業値変換はサブルーチン MLKCV で行なっている。CRT 表示は MHYJ 14^{5), 6)} である。これらの詳細については PFU - 400 のソフトウェア説明書と当施設計算機室のソースプログラムリストを参照されたい。

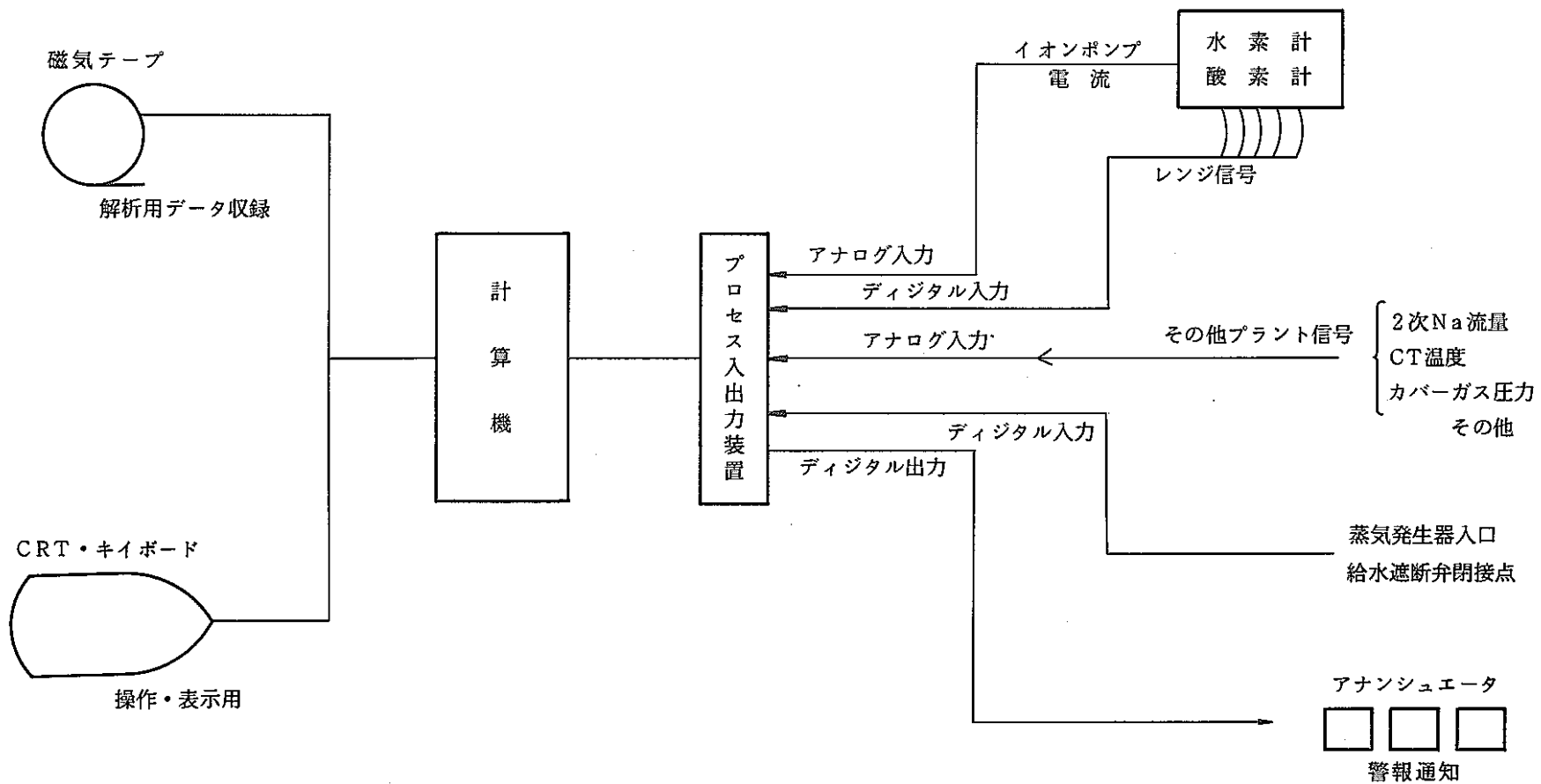


図 2.1 水リーク自動判定装置ハードウェア図

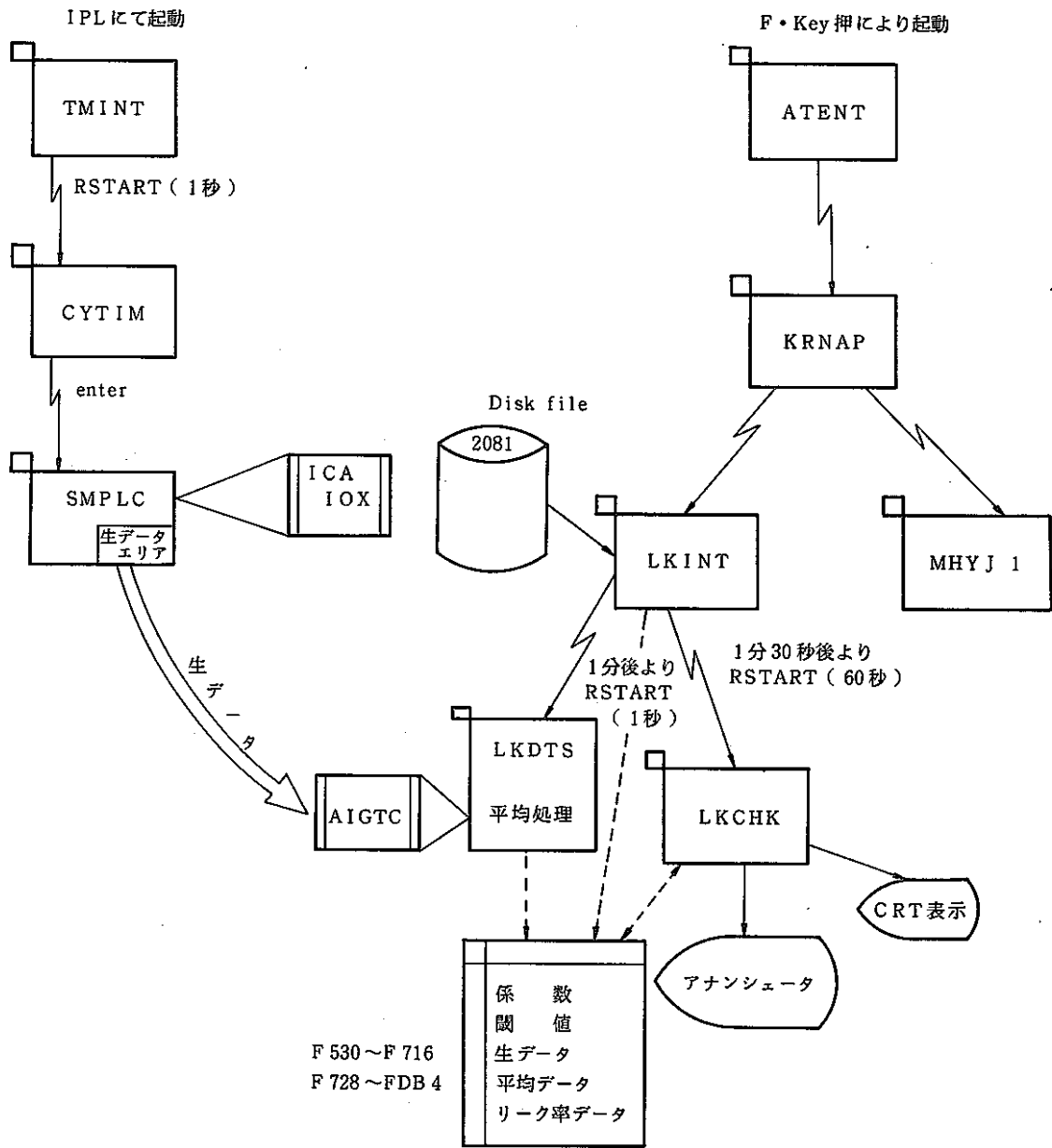


図 2.2 小リーク自動判定装置プログラム関連図

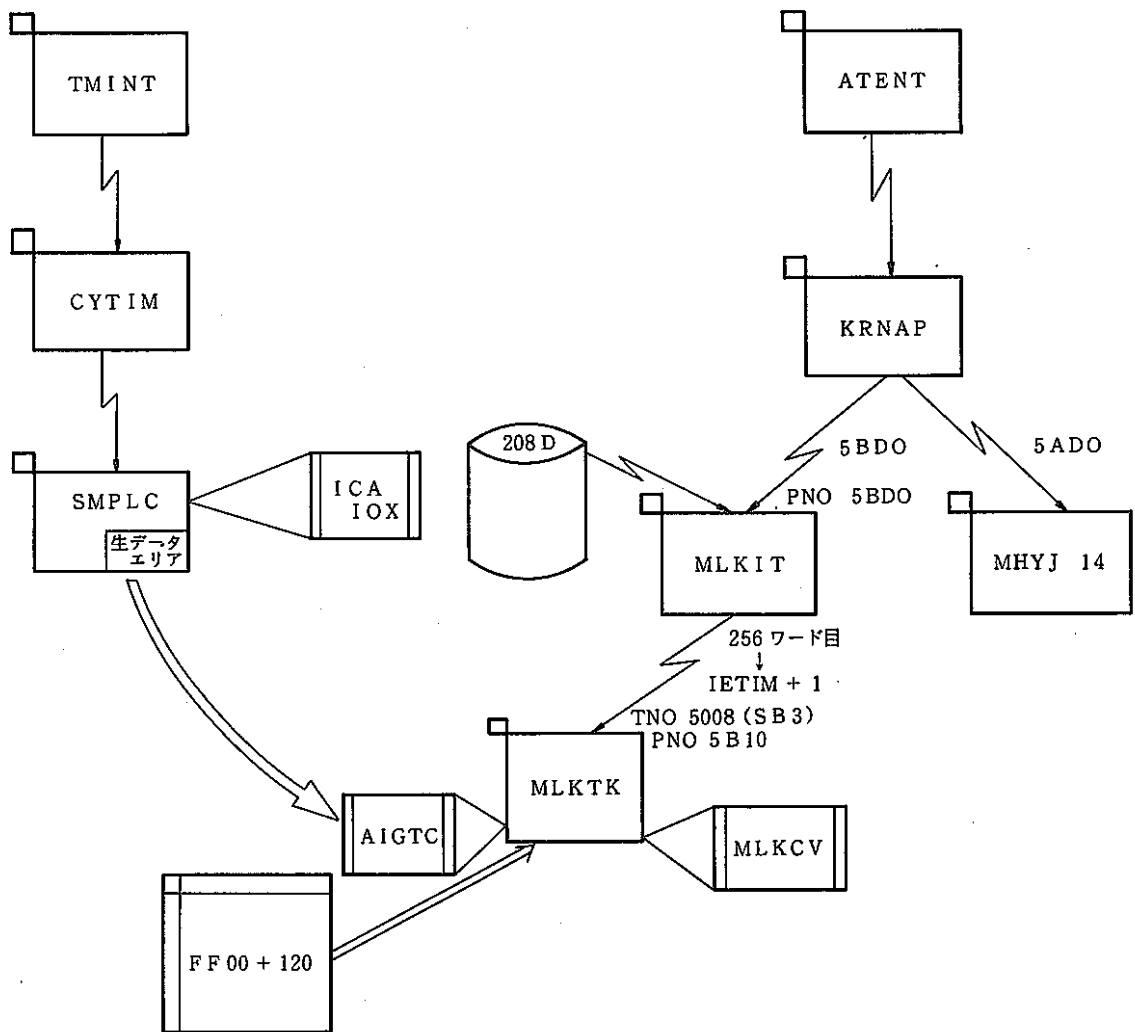


図 2.3 中リーク自動判定装置プログラム関連図

3. 実証試験

小リーク警報と中リーク警報と呼んでいるものを組み合わせた水リーク警報システムの性能を確認するために以下の項目を目的に実機への適用を行った。本システムの実証は警報遅れ時間が妥当な時間内に入っていること、リーク率計算が正しく行なわれていること、通常時に誤警報を発生しない事の三点に対する確認で行なった。

本実証試験の主体は本施設で実施された注水素試験、注水試験への適用である。これらの試験結果データ等は他の報告書に詳しいのでそれらを見ていただきたい。本装置は蒸気発生器運転中に常時稼動させておいた。本実証試験では本装置からの警報発生時刻、CRTへのリーク率表示、のデータを収録し、運転員からの警報発生報告を受け注水素・注水試験データと対応させそれらをまとめた。

3.1 警報遅れ時間

本システムは水素計・酸素計の指示値を用いている。

その検出についてはリーク地点からの流動遅れや検出応答遅れがある。これらの検討は他に専門的になされているのでここでは指示上昇があってから本システムが警報を発生するまでの時間遅れについて調査した。警報遅れについての一般的な考え方は図 3.1 の様になる。

表 3.1 に注水試験と注水素試験に適用した時の警報遅れ時間を整理した。試験番号で頭にWがあるのが注水試験で 700, 800, 900 番台が注水素試験である。注入位置は過熱器出口ナトリウム主配管か蒸発器本体内である。もんじゅにおいては約 5 倍のナトリウム主流量があるのでもんじゅ相当注水率は当施設の 5 倍とした。これは記録計等において同じ指示上昇を示すもんじゅでの水リーク率ということである。注水素率に対しては水リーク率換算で九分の一になっているので、もんじゅ相当としては 45 倍した。蒸発器カバーガス中への水素注入においては⁸⁾一気に入注したので注入率と注入時間は空欄とした。ナトリウム温度で数字が一つの場合はプラントは等温運転で、蒸発器入口ナトリウム温度を示す。数字が二つの場合は蒸発器単体運転で、蒸発器入口ナトリウム温度／蒸発器出口ナトリウム温度を示す。数字が三つの場合は過熱器・蒸発器結合運転で、過熱器入口ナトリウム温度／蒸発器入口ナトリウム温度／蒸発器出口ナトリウム温度を示す。遅れ時間は図 3.1 に説明した通りである。警報方式は、1979 年末までは小リーク警報のみであり 1980 年夏に中リーク警報を作成したので、ケース 705 から両方式併用となっている。

注水素試験の結果より²⁾蒸発器入口ナトリウム温度が 350℃以上ではカバーガス中水素計の指示上昇はないと考えていたので判定論理で含めない事としたが、実際はケース 915, 916 で典型的に⁸⁾表われている様にカバーガス中水素計は明らかに上昇しておりこれにより警報を発生するのが正しいと考え、今後はナトリウム温度にかかわらずリーク判定論理に含めることにする。

ケース W 112 と W 113 A の場合は、中リーク警報がまだ設置されておらずかつナトリウム温度が低いためナトリウム中水素計の指示上昇が緩やかなためリーク警報が発生しなかった。この様な事

は蒸発器通水初期（ナトリウム温度：200℃程度）にはありうる状況である。中リーク警報機能でカバーガス中水素濃度の明らかな上昇は検出出来る様にしたのでこの問題点は解決した。その他カバーガス中水素計によらなければ早期に警報を発生することが出来ない場合があり、本機能は非常に重要であると考えている。警報遅れ時間については表3.1から1分ないし2分程度である事がわかるので運転操作上是十分有効不可欠なシステムとなっている。

なおこの値の定量的に厳密な数値は、NANCY-IVやSWAC-10の様な水素挙動解析が十分煮つまった時点において可能となる。そのためにはナトリウム温度や水リーク率・リーク位置による水素のナトリウムへの溶解割合やカバーガス中への移行割合や移行遅れ時間が明確にならねばならない。

3.2 リーク率計算結果

水リーク警報が発生した場合運転員は運転継続か出力降下か緊急停止かをすみやかに判断しなければならない。これらは破損伝熱管の隣接伝熱管がウェステージで破断するかどうかによる。破断する前にシャットダウンする必要があるし、またあまり微小リーク時にシャットダウンすると閉塞してその後の補修作業時にリーク位置を発見出来なくなり再使用が非常に遅れることとなる。

このため本システムではCRTにリーク率を表示して的確な運転操作が出来る様になっている。これは中リーク警報でも表示出来るが、より正確で利用頻度が多いと考えられる小リーク警報機能でのリーク率計算について検討した。注水試験時におけるリーク率表示及び記録計かプロッター図から手計算で求めたリーク率を表3.2にまとめた。またそれらを図3.2に示した。非常に良い精度でリーク率が求まっている。ただしこれらは検知されたものをリーク率に変換したもので実際は、検出割合によりこれより増加する。それらはリーク位置、リーク率、ナトリウム温度によって変化したオンラインの計算では原理的に本当のリーク率は求まらない。これらは現在の所水注入試験のデータを基に運転員が判断しなくてはならない。傾向として温度の高い時はほぼ検出割合は100%に近いのでほぼこの値で運転の判断に用いてよい。カバーガス中水素計の上昇が速い時とナトリウム温度が200℃程度の低い時は検出割合が小さいので数倍から数十倍する必要が出る。ただしこの時は隣接管のウェステージもほとんどされないのであまり緊急の操作は必要としない。

なお表3.2と図3.2では水素基準のリーク率としたため水リーク率としては9倍する必要がある。この点は表示に関しても1979年11月中旬に水基準のリーク率に変更した。表3.2のケースW114は実際は $7 \times 10^{-2} g/sec H_2O$ とリーク率が表示されたが、表の統一のうえから9分の1の $7.8 \times 10^{-3} g/sec H_2$ と記した。

3.3 定常時性能

異常検出システムにおいても一つ重要なことは通常時の定常ノイズ・ゆらぎ等に対して警報を発生しないことである。このため1981年6月7日から試験グループに通水及び通気期間中に発生

する警報について報告を依頼した。報告のうち注水素試験実施による警報発生を除くと13件の報告があった。それを表3.3に示す。これらは次の3原因に分類される。①水素計イオンポンプはレンジ切替方式であるがレンジ切替の接点信号が変化してもアナログ入力のイオンポンプ電流信号に時間遅れがあって工業値変換値が極端に大きな値となるため。②水素計イオンポンプがパルス状や階段状のノイズを発生する。③今回EV-HArのイオンポンプ電流出力が計器不調により極端に小さくなりわずかな信号のゆらぎでも中リーク警報の上昇率計算値が警報設定以上になるためである。

これに対しては次の2つの対策を施し今後も調査を続ける予定である。第1はレンジ切替時数秒間は本機能から警報を発しない様にする。第2は中リーク警報の上昇率計算手法を一部変更する。上昇率計算は従来は各水素計・酸素計に対し次の様にしている。

$$R = \frac{C - C_s}{C_s} \quad (2.2.1式)$$

これを今後次の様に一部変更する。

濃度が設定値 ϵ 以下の時のみ

$$R = \frac{C - C_s}{\epsilon} \quad (3.3.1式)$$

ここで C : 現在の水素・酸素濃度
 C_s : 一循環時間前水素・酸素濃度
 ϵ : 濃度設定値
 R : 各水素計・酸素計の上昇率

第一の方法で原因①、第二の方法で②の大部分と原因③の誤警報発生を防止出来ると考えている。特に表3.3のNo.9, No.10はイオンポンプ電流出力が極端に小さくなり誤警報を頻発に発生した。これに対し第二の対策をほどせば $(C - C_s)$ は C_s に対してはかなり大きくても、 ϵ に対しては C_s とCの絶対値が小さいことから非常に小さくなるので、上昇率Rは大きくならず、誤警報は発生しない。表3.3の状況を調べてこれらの対策で十分対応出来ていると考えているが今後も調査を続けて行く予定である。

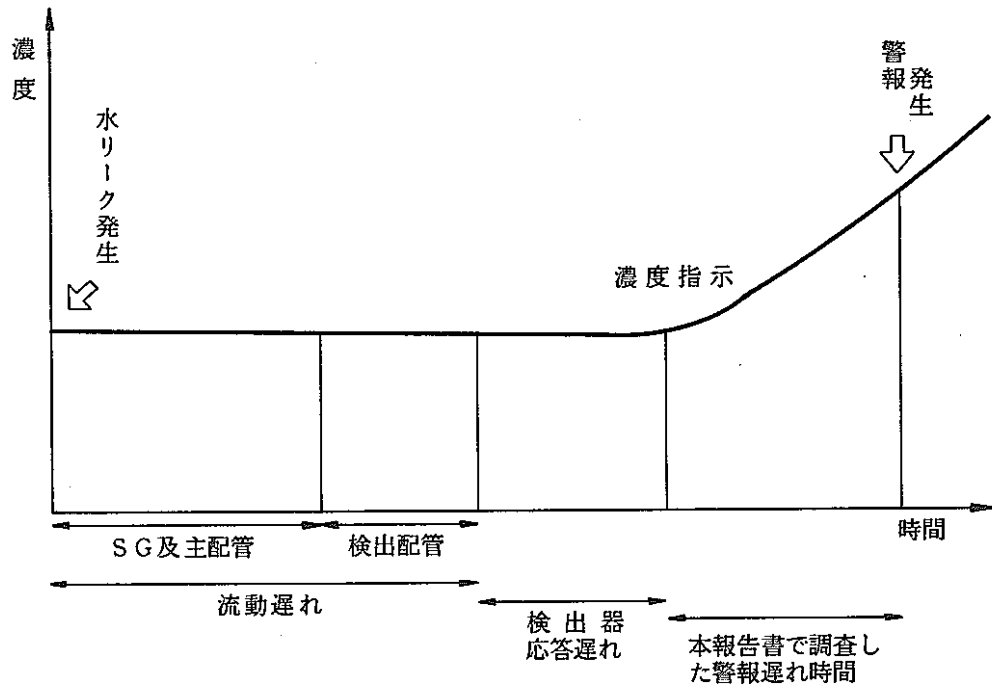


図 3.1 リーク発生から警報発生まで

この頁はPDF化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所を参照して下さい。

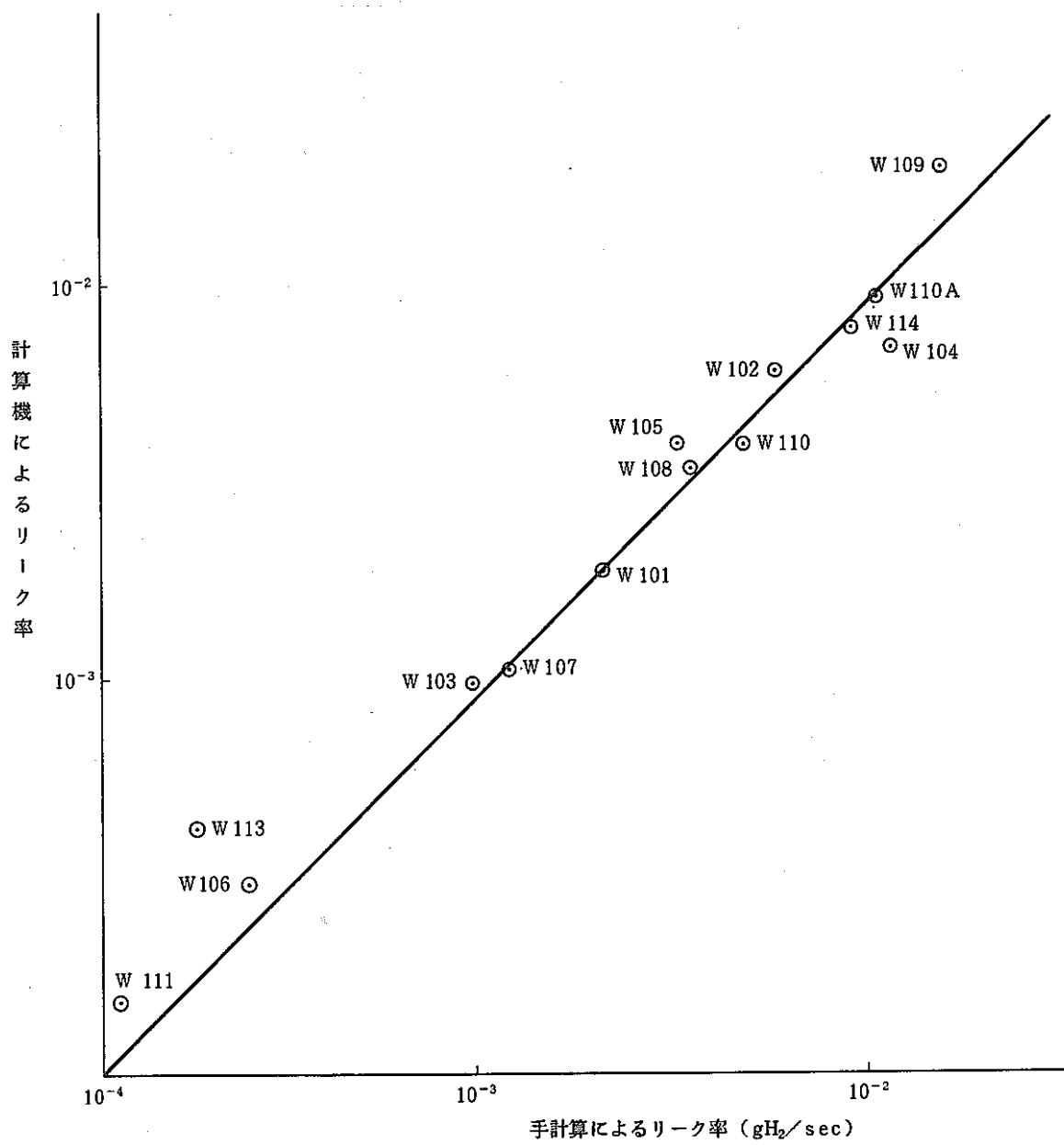


図 3.2 リーク率の比較

表 3.3 水リーク警報誤警報調査一覧

	月 日 時 分 秒	回数	程度	内 容
1	6月16日 11:11:12	5回	最強	EV-HAr レンジ切換による
2	23日 7:51:27	1回	微	EV-HAr イオンポンプノイズ発生
3	25日 13:15:36	—	微	SH-HNa イオンポンプノイズ発生
4	25日 14:32:52	3回	微	EV-HNa, NaP-HNa レンジ切換による
5	25日 16:16:38	2回	微	ノイズ発生
6	28日 0:57:49	1回	微	SH-HNa イオンポンプノイズ発生
7	28日 14:06:00	3回	中	SH-HNa イオンポンプノイズ発生
8	30日 2:00:25	2回	最強	EV-HNa レンジ切換による
9	30日 3:00:02	7回	微	原因不明 (EV-HAr イオンポンプ不調)
10	7月 2日 10:14:50	多数	最強	原因不明 (" ")
11	8日 22:20:49	1回	微	SH-HNa イオンポンプノイズ発生
12	27日 10:30:06	1回	強	EV-HAr レンジ切換による
13	27日 16:46:53	1回	最強	EV-HAr レンジ切換による

4. 検 討

水リークの小リーク領域以下の早期検出のために本システムを開発したが有効に動作し「もんじゅ」等へ充分適用出来るシステムであることが確認された。早期検出のためには2種類の指示上昇に対して対応出来る必要があることがわかった。一つは伝熱管にリーク孔が突然発生して明確な指示上昇が開始される場合でもう一つは、リーク孔が発生したがリーク率が低いために水素計指示がじわじわと上昇する場合で、目安として0.01 g/sec 以下の低リーク率の領域である。この要件に対応するためには、今まで述べた様に小リーク自動判定と中リーク自動判定と名付けた2方式を併用する必要があることが明らかになった。明確な指示上昇がある場合はそれに対応して水リーク率も高く、ウェステージによる隣接伝熱管の損耗・破断までの時間も短いことになる。指示上昇が明確なためノイズ除去をさほど強力に行なう必要もなくかつ、設定も大きく出来る。そのかわり監視間隔を短かくして応答時間を短縮する必要がある。第2のじわじわと指示上昇するリークの時は逆でウェステージによる隣接伝熱管の損耗・破断までの時間には余裕があるが、マイクロリーク領域でもセルフウェステージによってリーク孔拡大現象が起る可能性があり運転員による監視警戒体制に入る必要がある。この場合必要なのは、可能なかぎり設定を小さくすることで、その障害となるのは水素計によるノイズ発生、伝熱管の拡散水素量、コールドトラップによる水素除去である。逆に実行周期を長くしてその時間を利用して強力なノイズ除去等を行ない低設定においてもノイズ等の影響による誤警報の発生を押さえる事が出来る。特に低リーク率時は、すぐさま蒸気発生器隔離を行なうとどの蒸気発生器でリークしたか判別出来ない可能性が出たり、セルフプラグのため補修作業においてリーク位置が発見出来ないという可能性が残る。そのためにはリーク率を常に監視しながら出力状態または通水待期状態を保持する必要がある。このためリーク率を直接CRTに表示するのは必要でウェステージにより隣接伝熱管が損耗・破断するリーク率の領域に入るかどうかの監視を続けながらリーク後の補修作業も念頭に置いた操作手順で最終的には停止にもっていかねばならないと考えている。

本リーク自動判定装置は、以上の様に十分な性能を発揮することがわかった。また水素注入試験・水注入試験の結果から必要な時に警報を発生しないという警報ミスはなかった。

本試験期間中は、表3.3に示した様に誤警報を発生した。その中での、項目9、10についても水素計イオンポンプ不調のためとわかった。これらに対しては、改良を行ないその確認をとる予定である。実証はしていない訳であるが、本装置にとって、その性能上で問題となることではないと考えている。

今後は、主に次の点について改良を加える必要があると考える。まず第一に表示の関係である。今回の製作では本システムの機能が妥当であるかどうかの確認をするための表示が主であるため、計算の過程や細かな設定値などを表示している。また、小リーク自動判定機能と中リーク自動判定機能の表示が別々となっている。すべてのCRT表示は運転手順と密接に関連づけられていなければならず、この水リークに関してもリークの有無、規模やウェステージ関係の余裕時間を重点に必要十分な表示

としなければならない。

その他本機能は蒸気発生器通水以降の運転モードで必要なのでその判定をして本システムの自動起動と自動停止の機能があるとよい。特に通水前は水素計の起動調整などで指示が不安定になりやすいので積極的に停止させておく事が好ましい。本システムでは、中リーク警報においては、計器の不調によって誤警報が発生した。一つは水素計のイオンポンプが異常に指示低下して水素濃度が見かけ上非常に小さくなり少しのノイズでも上昇率が多くなり中リーク警報で誤警報となった。これに対しては、各々の水素計等においてその性能上指示として妥当な領域内での濃度最小値を設定値として、その設定値よりも実際の指示値が小さくなってしまった場合はその水素計を異常と考えて計器除外し、判定論理に含まない様にするとういと考えている。第2はレンジ切替時に発生する中リーク警報における誤警報でレンジを切替てもイオンポンプ出力のアナログ信号の変化の応答が遅く、レンジ切替直後もイオンポンプ電流としては前のレンジの場合の値に近いものを取り入れて全く違った水素濃度値を用いることになる。デジタル信号が変化した時はそれに対応する水素計は5秒間程度計器除外にするといった対策をとるべきであり、これについては今後改良する。水素計自体その信頼性が万全のものとなっている訳ではなく故障の可能性もある。もし万一故障した場合には手動入力による計器除外の機能がないと誤警報を出す可能性があり水リーク自動判定装置としての機能をはたさなくなるので計器除外の機能は必要となる。水リーク発生後の補修を考慮に入れるとリーク時の各水素計の応答は詳細に残しておくべきと考える。リーク発生後の解析でこれらの信号を詳細に検討することによってある程度のリーク位置、リーク孔の程度を知ることが出来る。このためには例えば20分程度のデータを常時サイクリックに磁気ディスクファイルに格納し、リークと自動的に判定した時又は手動によりそのデータを磁気テープに収録し、その後も続けて磁気テープに収録し続ける必要があると考える。その他の改良点としては中リーク自動判定を後に付け加えたこともあり、小リーク自動判定装置においてリーク率を算定する起点を計算機の主記憶装置を節約する観点から一時間ごとに更新していたがこれを1分ごととして60データを記録してそれを起点とする方法に変更した方が良いと考えている。すなわち常時リーク率を計算する時間幅を60分一定とする方法である。

その他計算機システムの改良という点のみからは改善しにくい問題として以下の点があげられる。

- 水素計自体から発生する信号中のノイズを減らすこと
- 水素計の較正曲線の経時変化を少なくすること
- 水素計の耐久性を増すこと（膜、イオンポンプ出力）
- 膜温度制御の安定性を増すこと
- 2次ナトリウム系内の水素挙動を明確にすること

特に最後の点は今後の問題の中心点となりそうで、リーク時のカバーガス中への水素の移行量、カバーガス中での濃度と検出計指示の関係、ナトリウム温度変化時の水素濃度変化の定量的解明、スタグナント部のナトリウム中での水素濃度変化—特に接している流動ナトリウム温度と温度差が多い場合の水素の移行量など誤信号発生に到る可能性のある問題点は様々ある。

5. 結 論

今までは個々の水素計の指示を記録計に表示していた。イオンポンプ電流の絶対値レベルでの警報があるがナトリウム温度が変化するとバックグラウンド水素濃度が変化するなど一定値で持続することがなく、絶対値警報を設定することは出来なかった。この点及びリーク率を直接 CRT 等に表示する必要性から新たに制御用計算機を用いた水リーク自動判定装置を製作し、注水試験、注水素試験に適用しその有効性を実証した。もんじゅにおいても本方式を適用すべきと考えている。

現在のもんじゅ設計では、3段階の ROR（上昇率）警報となっており、Hが1時間で 15 ppb、HHが15分間で 15 ppb、HHHが10分間で 30 ppb 上昇した時に警報を発生する。また絶対値警報としてバックグラウンド水素濃度の 10% を考えている。ここで問題なのは、リーク時上昇程度を評価するのにそのベースの時間間隔が最短でも 10 分ある点である。合理的なのは同じナトリウム中の水素上昇を評価すると言う点で2次ナトリウム（冷却）主系統の一循環時間を用いる方法である。もんじゅではある設定値を越えなければよいと言う考え方と思われるが、実際に必要なのはノイズの多い水素計・酸素計信号から有意な情報を確実に選別し可能なかぎり早くかつ可能なかぎり微少な水リークに対しても警報が出せることが必要であり、今回のシステムはこれを満たしている。また大型ナトリウム施設実機に適用して十分問題点を調査した。前報告書作成後に新たに中リーク警報を完成させ、レンジ切換に対する処理を行なう、注水素・注水試験に適用するなど完成度の高いシステムになったと確信している。またもんじゅにおいてはカバーガス中水素計に対しては絶対値警報しか考えられてない様である。もしそうであるとすると、ナトリウム温度変化時・通水初期・スクラム時（温度変化のため）にはカバーガス中水素濃度のバックグラウンドは大幅に変動し絶対値警報では対応しきれない。50 MW 蒸気発生器試験施設での注水素・注水試験でもカバーガス中水素計の応答は早くかつ明確に指示上昇をしており、これに対して十分対応しきる検出警報システムにすべきである。今回開発した中リーク警報装置はこれに対して十分満足した性能になっている。

6. あとがき

本システムは初め 50 MW 蒸気発生器試験施設計算機応用(I)運転監視システムの開発(その1)の中で製作されその報告書の第 11 章に開発の初期の段階の結果を述べた。その後も中リーク警報の必要性がわかるなど改良を続け、注水素試験や注水試験も実施されたのでその適用を行ない良い結果を得た。これらのソフトウェアの新規作成や改造に協力していただいたファコム・ハイタック(株)の皆様に深く感謝いたします。また実証試験において、データ収集や調査に協力いただいた 50 MW 蒸気発生器試験室の試験グループの皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) PNC SN941 81-52 50 MW 蒸気発生器試験施設計算機応用 (I)- 運転監視システムの開発(その1) 1981年2月 玉山, 岡町, 土屋
- 2) PNC SN941 78-50 50 MW 蒸気発生器施設における水リーク検出システム評価試験 -第5報- 注水素試験 1978年3月 法月, 鐘ヶ江, 池本, 小杉, 玉山
- 3) PNC SN941 78-37 50 MW 蒸気発生器施設における水リーク検出システム評価試験 -第6報- NANCY-IIの開発 1978年3月 玉山 他
- 4) PNC SN941 81-23 50 MW 蒸気発生器施設における水リーク検出システム評価試験 -第7報- 注水試験 1981年4月 小杉, 仲井, 金子, 恵本
- 5) PNC N952 80-09 50 MW 蒸気発生器試験施設計算機システム ソフトウェア説明書 (PFU-400/FACOM 270-25) 1980年9月 玉山 他
- 6) PNC N952 80-14 50 MW 蒸気発生器試験施設計算機システム ソフトウェア説明書 (追加・改良版)(PFU-400/FACOM 270-25) 1980年11月 玉山 他
- 7) PNC SJ906 79-02 小リーク・Na-水反応(セーフティマップ)解析コード SWAC-10-MJ/2の使用マニュアル 1979年12月 渡辺収, 岸田他 (三菱原子力委託研究)
- 8) PNC SN941 81-259 50 MW 蒸気発生器試験施設における水リーク検出システム評価試験 -第8報- 注水素試験(II) 1981年12月 綿見, 黒羽, 高橋, 奥村