

リーク検出計開発研究プログレスレポート(その1)

(小リーク・ナトリウム水反応試験研究 第12報)

1977年11月

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

1977年11月30日

リーク検出計開発研究プログレスレポート(その1)

(小リーク・ナトリウム水反応試験研究 第12報)

報告者 鐘ヶ江 直道*

大後 美道*

池本 一郎*

井上 設生*

堀 雅夫**

要 旨

本プログレスレポートは、小リーク・ナトリウム水反応研究で得られた情報のうち、リーク検出計開発に関するものを速報的に報告するもので、日本原子力学会の講演原稿をもととした全5編より構成されている。

各編の報告内容は以下のとおりである。

第1編：小リーク・ナトリウム水反応試験装置(SWAT-2)に組込まれたVARIAN社製 Ni膜-イオンポンプ型 Na中水素検出計を用いて実施した静的平衡法による較正試験結果の報告。Na中水素濃度(C_H)とイオンポンプ出力(I_P)には理論どおりの関係は成立せず、 $C_H \propto I_P^{0.7 \sim 0.75}$ の関係が見出され、米および仏の報告とともに一致したことの報告を中心として、較正試験の原理、手法および問題点の指摘を記述し、最後に小リーク Na-水反応時の応答測定結果について報告した。

第2編：リーク検出計として最も実用化の進んでいるNi膜-イオンポンプ型 Na中水素検出計について、その設計法、性能評価法の一般化を試み、2つの特性図にまとめ報告した。1つは動的平衡運転からの要求項目をまとめた「検出特性図」で、他は静的平衡運転からのもので「静的平衡測定特性図」である。両図の使用によって、全ての上記検出計の設計、性能評価が可能である。

第3編：上記第2編で報告した最適設計法の実証を行う目的で製作した「PNC型 Na中水素検出計」について、その特徴、設計法の評価について報告した。前編での設計法の妥当性を確認すると同時に、定量的に不明確であった設計仕様等の定量的確認も行うことが出来、それによつてさらに測定精度の向上も可能であることを確認した。

* 大洗工学センター 蒸気発生器開発部 蒸気発生器安全性試験室

** 大洗工学センター 蒸気発生器開発部 部長代理

第4編；前編で報告した「PNC型 Na 中水素検出計」を用いて実施した、ガス中試験およびNa中試験結果について報告した。水素検出計の設計や測定にきわめて重要な項目でありながらこれまで定量値が不明確であった真空壁面からの放出ガス率やゲージの自己排気速度の測定結果についても報告した。

第5編；これまで確認した設計法、試験結果を反映し、原型炉もんじゅ用に設計、試作した「PNC型 Na 中水素検出計2号機」の構造、性能の特性およびNa中試験結果について報告した。本検出計は校正運転の手法、精度の向上を主目的として、静的室と動的室を分離したもので、今後長期性能試験による経年特性を確認していく計画である。

目 次

まえがき	1
I Na 中水素計の静的平衡法による較正試験	3
II Ni 膜-イオンポンプ型水素計の性能評価に関する考察	15
III P N C型Na 中水素検出計の概要	27
IV P N C型Na 中水素検出計試験結果	39
V P N C型Na 中水素検出計(静的・動的室分離型)	49
付録 : 原子力学会前刷抜粋	61

まえがき

Na 冷却高速増殖炉プラントに於ける蒸気発生器の開発研究の一部である、Na - 水反応研究は安全性評価のみならず経済性の面からも重要な項目の一つであり、これまで内外多くの研究報告がなされている。

Na - 水反応現象は大略、大リーク現象と小リーク現象に分けられ、前者がその発生確率は小さいと考えられるものの、その影響範囲、程度は大きい、また逆に影響範囲、規模は小さいが発生確率の大きい事を予想せねばならぬのが後者である。動燃の小リーク・ナトリウム-水反応試験装置（S W A T - 2）を用いた試験はその名の示すとおり小リーク現象を対象として継続されているもので、リークにより隣接伝熱管の肉厚減少が生ずる現象である「ウェステージ」とリーク発生を極力早期に知るための「リーク検出計」と 2 つの研究を進めている。

本書はこの 2 つの研究項目のうち「リーク検出計開発」に関するもののみを速報的に報告する目的で作成するもので、以下の要領で記載している。

1. 学会（主に日本原子力学会）で口頭発表した項目毎にまとめる。
2. 口頭発表時の原稿に多少手を加えたものと、使用スライドのコピーとを一頁内に納め記述する形式とした。
3. 本文の各章に対応する学会の前刷集からの抜粋を付録として付けた。
4. 本書に記載した内容はあくまで速報を目的としたプログレスレポートであり、別報にて各項に対応する詳細報告書を出す予定（あるいはすでに出されているものも本書には含まれる）であり、内容的に重複する部分も生ずる。
5. 本報はプログレスレポートの（その 1）として作成したため昭和 50 年発表分から記載したが、今後は年一回発刊しその年の発表分のみを載せる計画である。

本書の報告内容は目次からお判りになるとおり、リーク検出計のうち Na 中水素検出計に関するもので、その使用経験およびそれを基とした設計法と試作した P N C 型 Na 中水素検出計についての報告である。このうち I, II 章に関してはすでに別の技術報告書でその詳細を報告すみであるが、III, IV, V については今後詳細報告書を出す予定である。

I Na中水素計の静的平衡法による較正試験

執筆：池本 一郎

本項は、日本原子力学会昭和50年分科会
で「小リーク・ナトリウム-水反応試験（第14報）」
として発表したものの講演原稿をもとにしてまとめたも
のである。

上記発表前刷を付録-Iに示す。

(1) SWAT - 2 装置の Na 中水素計系統図

S W A T - 2 装置において、今まで小リーク Na - 水反応による材料ウェステージ試験および小リーク検出器の開発試験を行なって来た。

リーク検出器のうちで、現在最も信頼性が高いと考えられている Na 中水素検出器では、現在まで P N C - M A P I 型について試験を行なって来た。

今回 S W A T - 2 装置に、新たにバリアン型 Na 中水素計が取り付けられ、Na 中水素濃度の静的平衡法による測定から、動的平衡法による Na 中水素濃度を測定する較正試験を行なった結果について報告する。

下図に S W A T - 2 装置に取り付けられている Na 中水素検出系の系統図を示す。P N C - M A P I 型水素計の下流に、バリアン型水素計が取り付けられている。

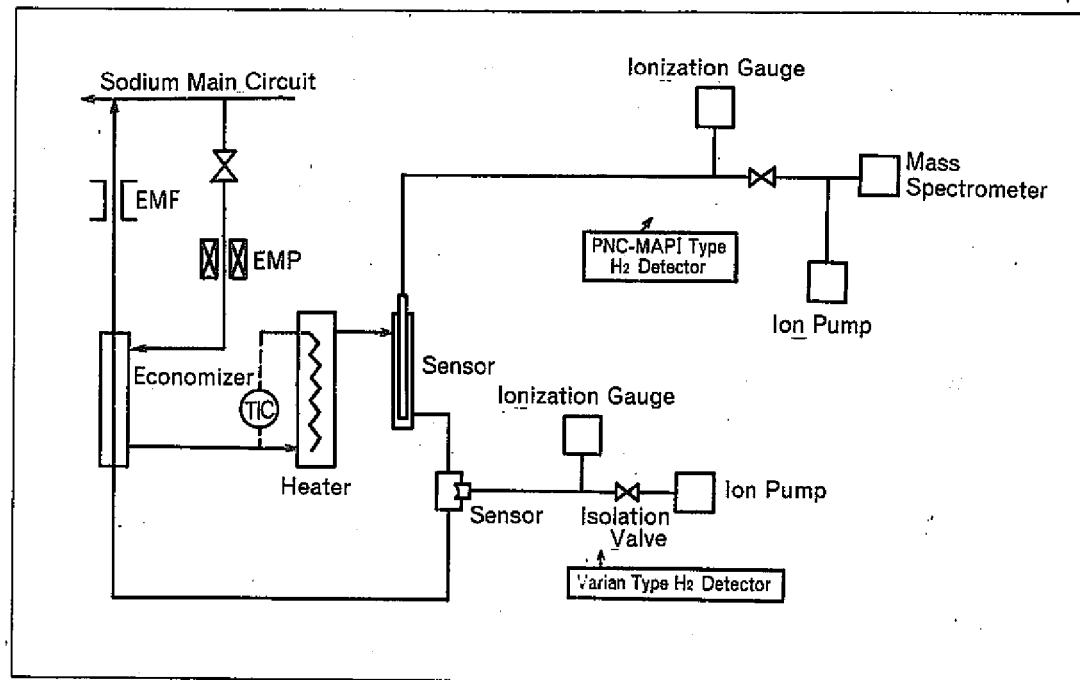
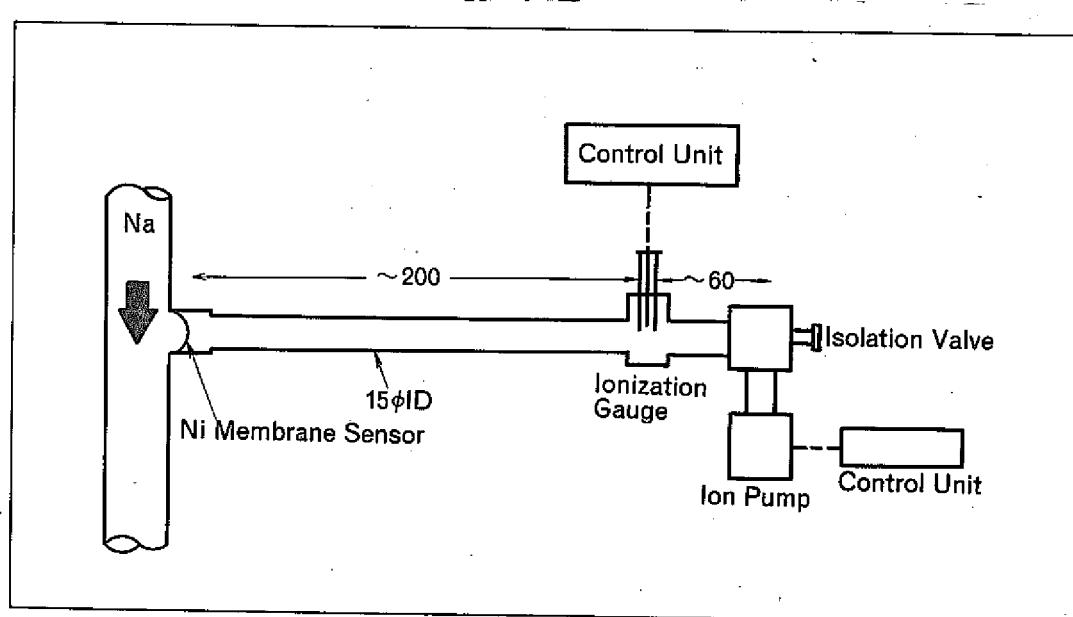


図) バリアン型 Na 中水素計の構造

下図にバリアン型Na中水素計の概略図を示す。

Na中に溶解した水素は、半球型をしたNi拡散膜を透過して真空側に拡散する。真空側には、電離真空計(ミリトルゲージ)、イオンポンプおよび静的平衡圧測定時に両者を隔離するための隔離弁が取り付けられており、各機器は特別な内面処理がされた配管により連絡されている。



(3) バリアン型 Na 中水素計の仕様

下表にバリアン型Na 中水素計の主な仕様を示す。

表より判るとおり、非常にコンパクトな形状をしており、SWAT-2装置での使用条件は、
Ni 拡散膜温度 (Na 温度) が 500°C、Na 流量が 10ℓ/min である。

<u>Ni Diffusion Membrane</u>	
Thickness	0.25mm
Area	10 cm ²
Shape	Semisphere
<u>Ionization Gauge (Milli Torr Gauge)</u>	
Pressure Range	10 ⁻⁶ ~1 torr (N ₂ eq.)
<u>Ion Pump</u>	
Pumping Speed	~1ℓ/sec (N ₂ eq.)
Open Circuit Voltage	3.5 kV
<u>Condition Operated in SWAT-2 Loop</u>	
Ni Membrane Temp	500°C
Sodium Flow Rate at Membrane	~10ℓ/min

(4) Na 中水素計の較正方法

下図にNa中水素計によるNa中水素濃度測定法を模式的に示す。

Na中水素濃度が一定の場合、隔離弁を開いた状態で運転すると、電離真空計の指示値 P_D とイオンポンプ電流 I_P は、Na中水素濃度 C_H に対応する値を示す。

次に隔離弁を閉じてイオンポンプを隔離すると、電離真空計部の圧力は、Ni膜を通して透過する水素のビルドアップにより上昇し、Na中の水素分圧に等しい圧力 P_E となって平衡に達する。この平衡圧 P_E とNa中水素濃度 C_H の間には、Sievertsの法則により、

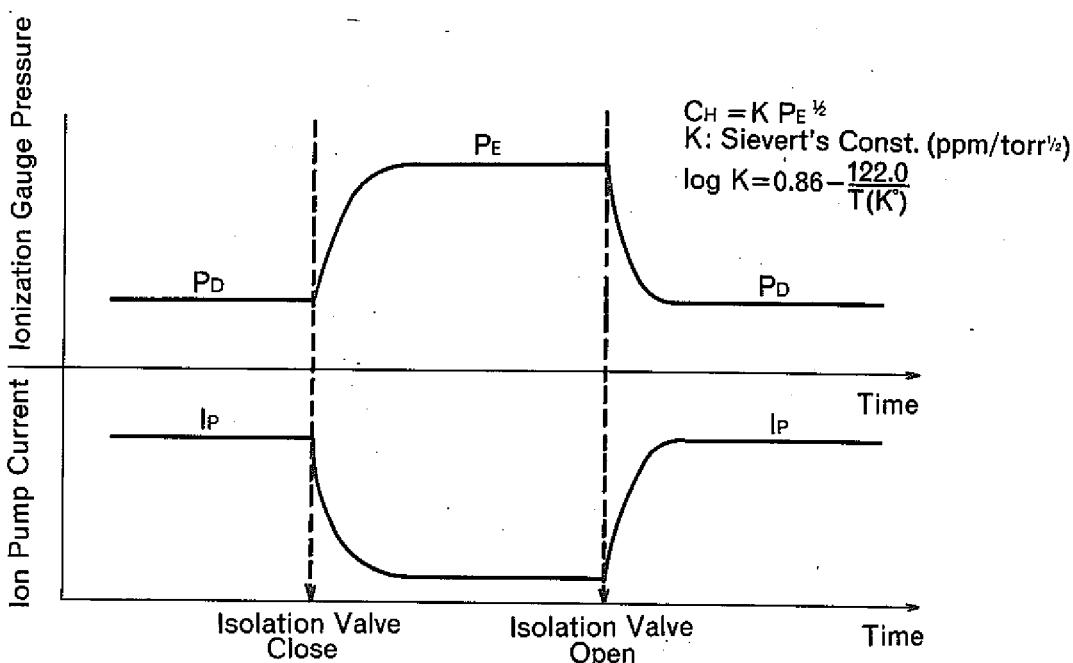
$$C_H = K \cdot P_E^{1/2}$$

ここで K : Sieverts 決数 (ppm/torr^{1/2})

$$\log K = 0.86 - 122.0/T \quad (\text{°K})$$

の関係があり、 P_E を測定することによって C_H が求められる。これを静的平衡法という。

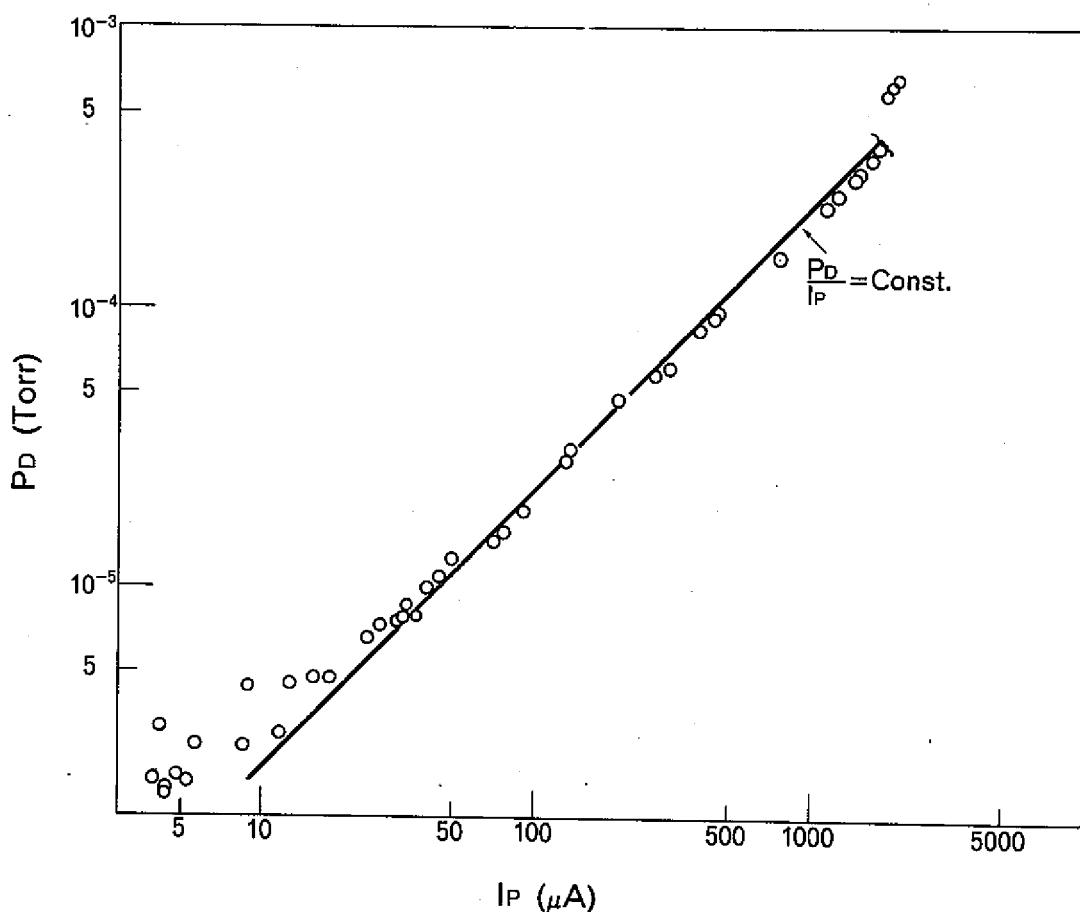
このNa中水素濃度 C_H に対して、隔離弁を開いた状態におけるイオンポンプ電流 I_P が対応しており、Na中水素濃度を変えて C_H と I_P の関係を示す較正曲線を作成すれば、隔離弁開いた状態におけるイオンポンプ電流の読みによってNa中水素濃度を測定することができる。これを動的平衡法という。



(5) イオンポンプ電流と真圧度の関係

動的状態におけるイオンポンプ電流と電離真空計の指示値の関係を下図に示す。

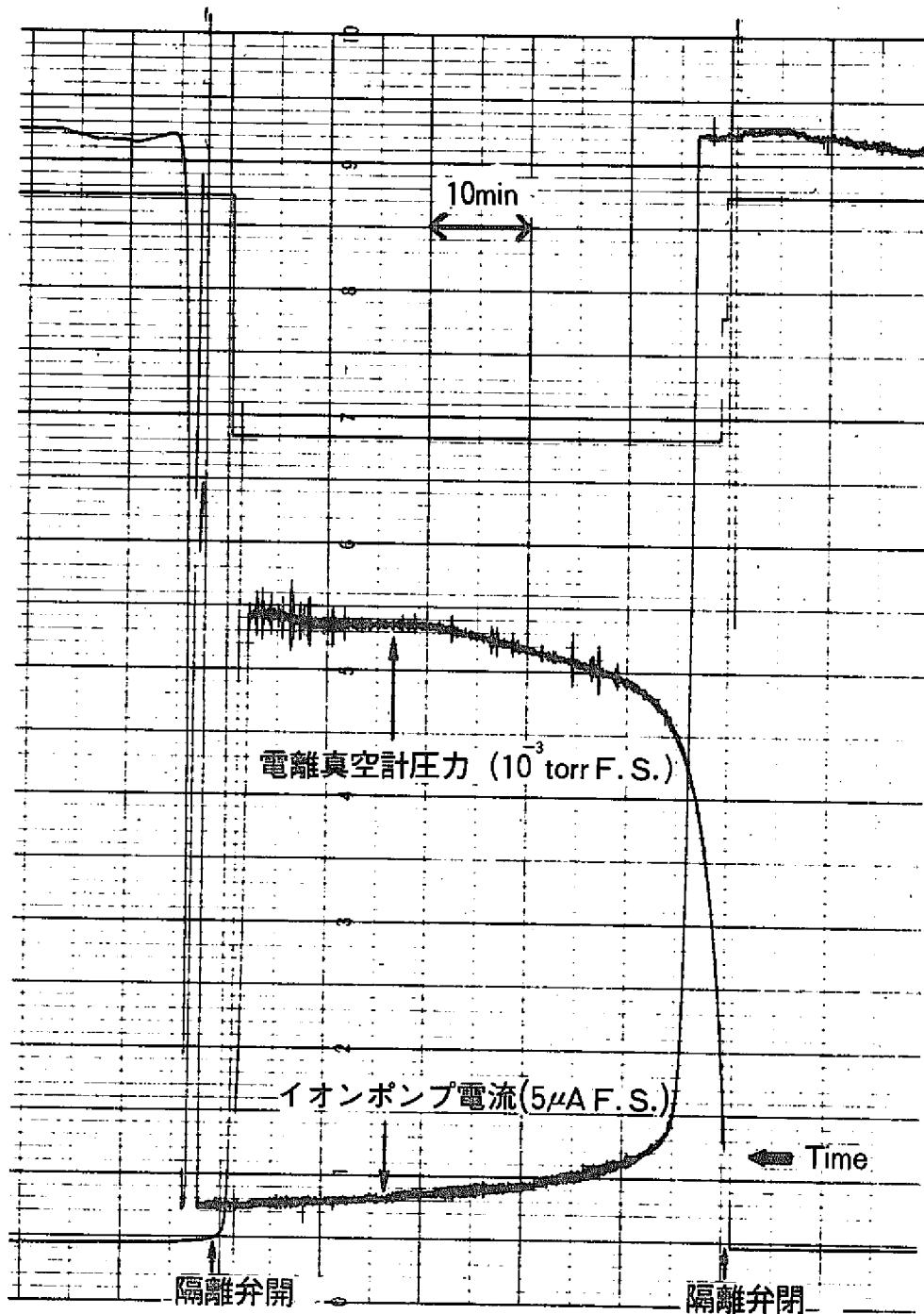
図中の実線はイオンポンプ電流と電離真空計圧力が比例していることを示す直線である。両者は広い範囲で比例関係があり、約 5×10^{-4} torr 以上で直線性が失なわれた。この現象は一般的にイオンポンプについて言えることである。また 5×10^{-6} torr 以下では、計器の読みとり誤差や、バックグラウンドにより直線性が失なわれている。



(6) 静的平衡圧測定例

下図に静的平衡法によって、Na中水素分圧を測定した場合のレコーダチャートの一例を示す。

隔離弁を閉にして約30分程度で平衡に達している。



(7) 静的平衡圧とイオンポンプ電流の関係

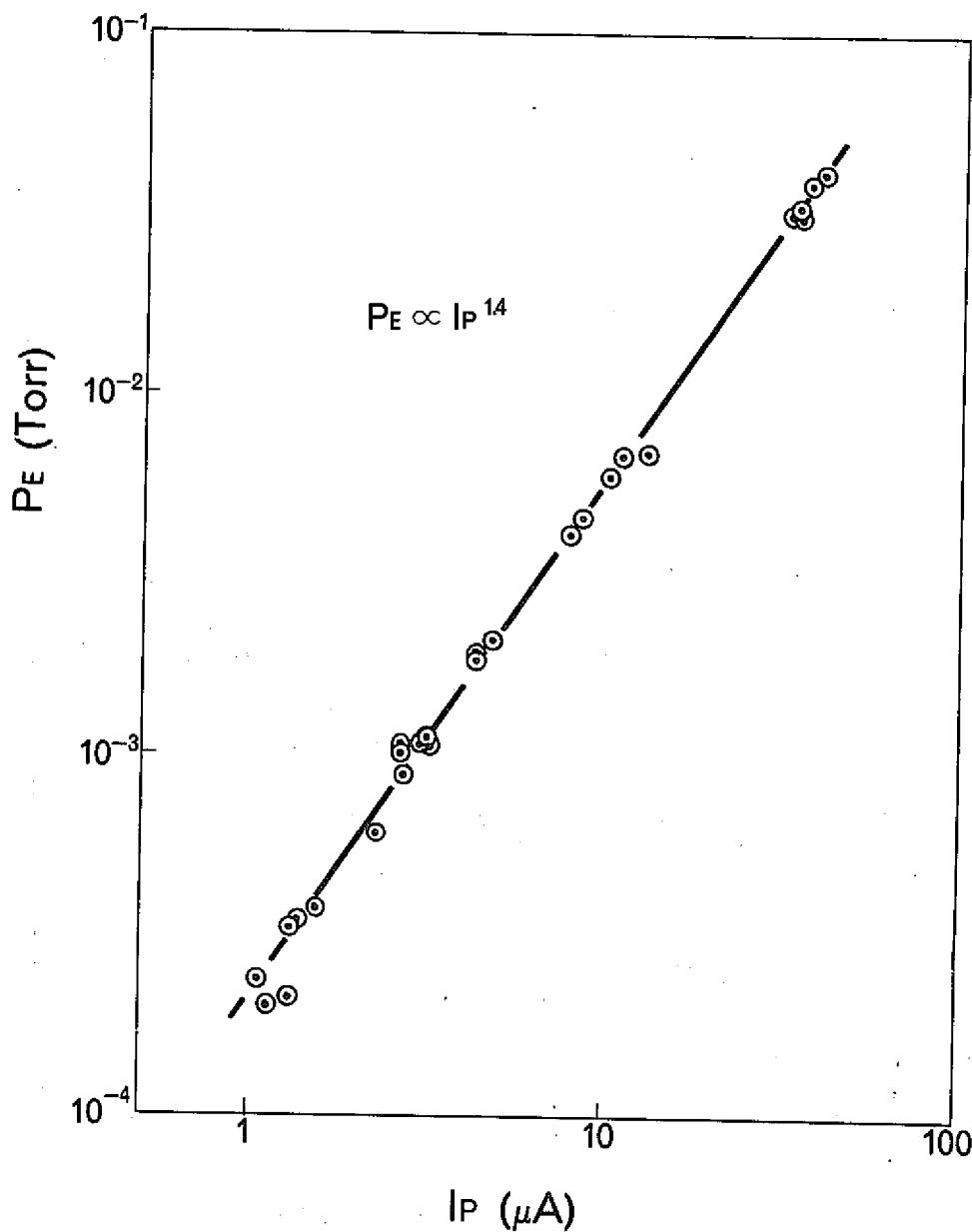
下図に静的平衡法によって求めた平衡圧 P_E と、平衡圧測定前後における動的モードによるイオンポンプ電流 I_P の関係を示す。

バリアン型 Na 中水素計の場合

$$P_E \propto I_P^{1/4}$$

の関係が得られた。

この関係を、Sieverts の法則により Na 中水素濃度とイオンポンプ電流の関係に直すと次のようになる。

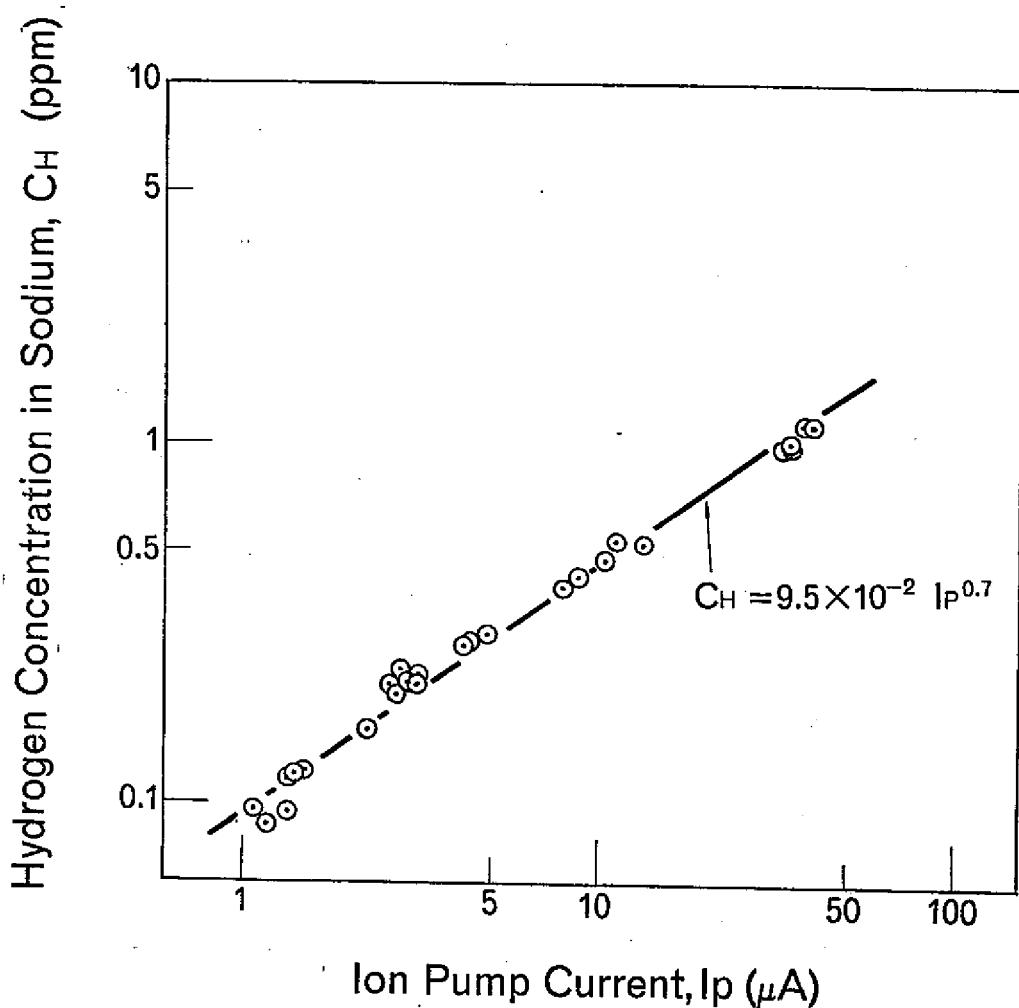


(8) バリアン型 Na 中水素計の較正曲線

本図はNa 中水素濃度 C_H とイオンポンプ電流 I_p の関係を示したものであり、これが動的平衡法によるNa 中水素濃度測定の較正曲線となる。

この関係は次式の関係で表わされ、この関係により、動的モード運転によるイオンポンプ電流指示値から、Na 中水素濃度が連続的に測定される。

$$C_H = 9.5 \times 10^{-2} \cdot I_p^{0.7}$$



(9) PNC-MAPI 型 Na 中水素計の較正曲線

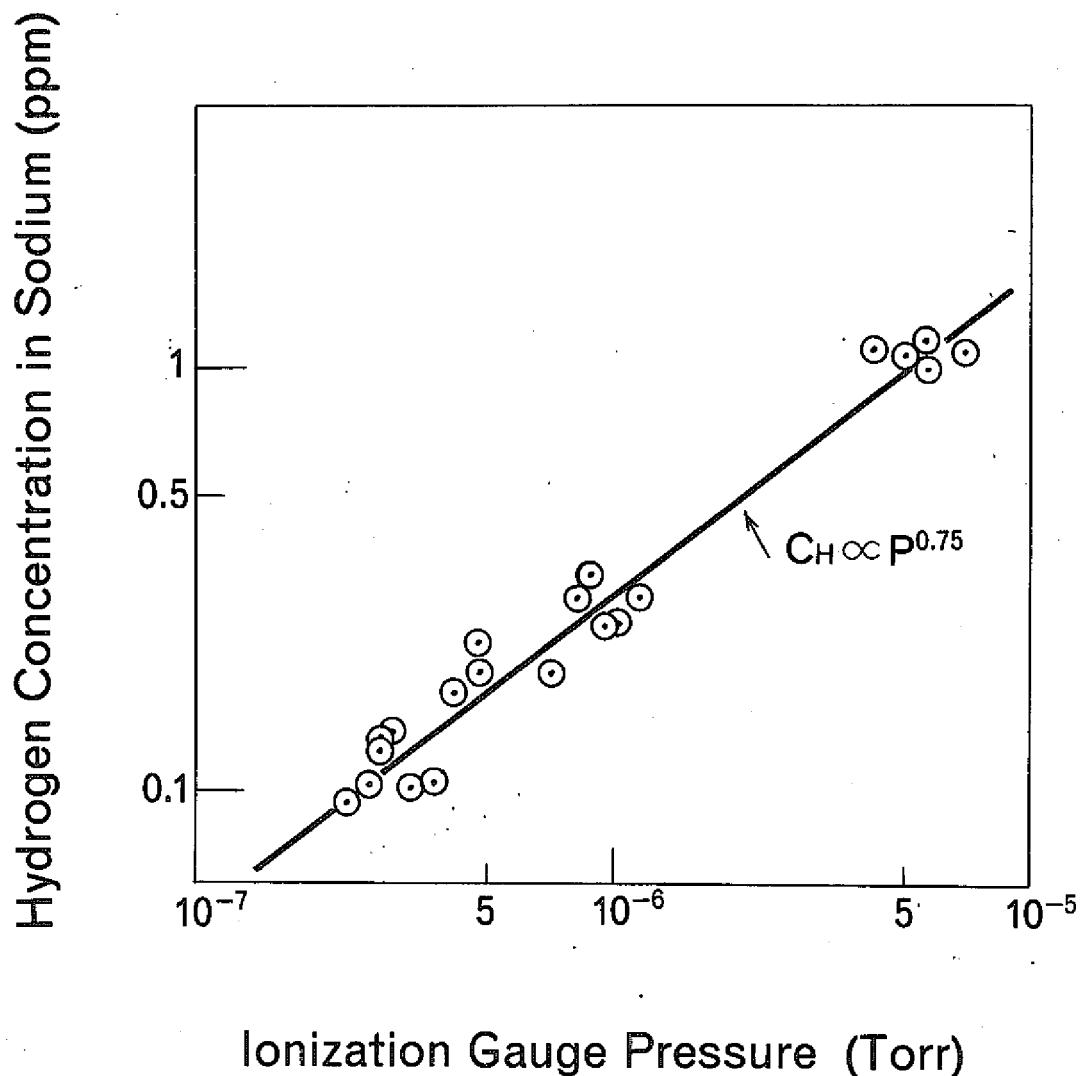
一方、PNC-MAPI 型 Na 中水素計の較正曲線も同時に得られた。これを下図に示す。

本図より、Na 中水素濃度 C_H と、電離真空計 (B-A ゲージ) 圧力 P_B の間には、

$$C_H \propto P_B^{0.75}$$

の関係がある。

以上のように、バリアン型およびPNC-MAPI 型水素計とともに、Na 中水素濃度はイオンポンプ電流あるいは真空側圧力の 0.7~0.75 乗に比例しており、これはフランスや米国 (SCTI) の報告とほぼ一致する。

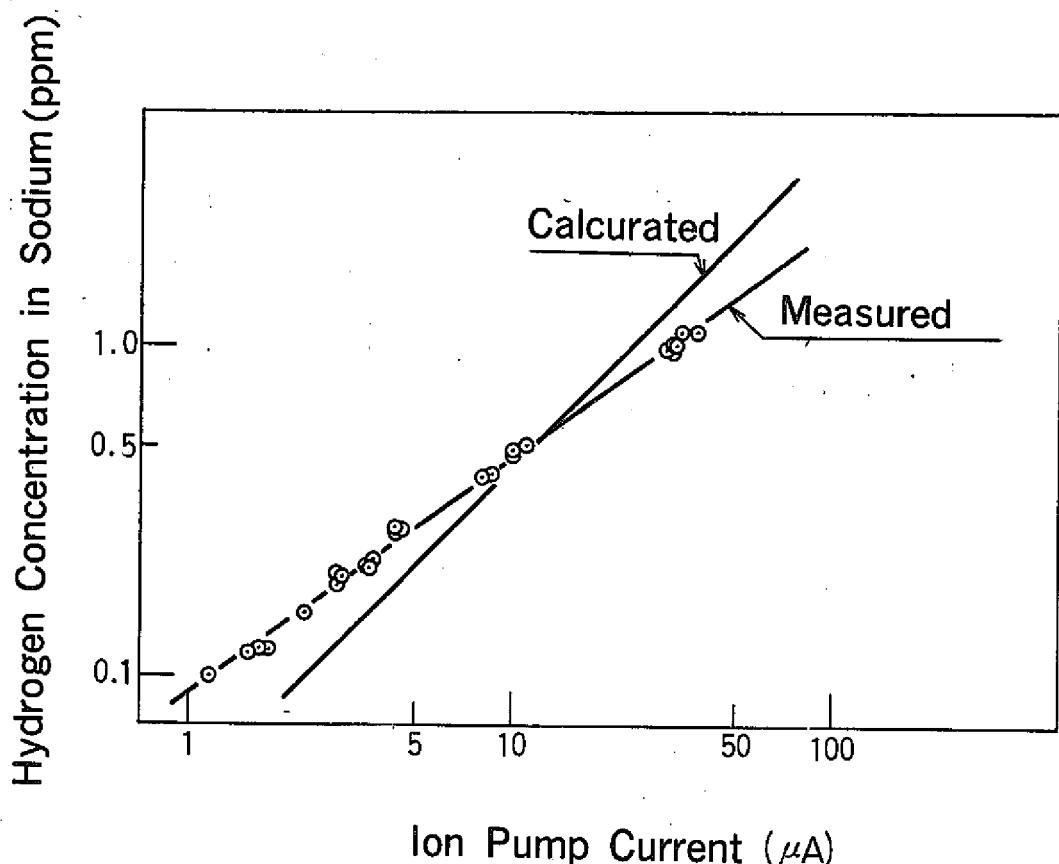


10 較正曲線と計算値の比較

Ni 拡散膜の水素透過率に Ebisuzaki らの値を使用して、バリアン型 Na 中水素計のイオンポンプ電流と Na 中水素濃度の関係を計算したものと、実測値を比較したものが下図である。

値そのものは大体同じオーダであるが、計算値は、 C_H が I_P に比例するのに対して、実測値は $C_H \propto I_P^{0.7}$ となっている。

もともと C_H が I_P に比例するのは、水素分圧が高い領域であり、水素分圧が低くなるとこの関係からはずれてくることは以前からも指摘されている。この原因については明らかではないが、拡散膜表面における水素分子の吸着現象による効果とも考えられる。



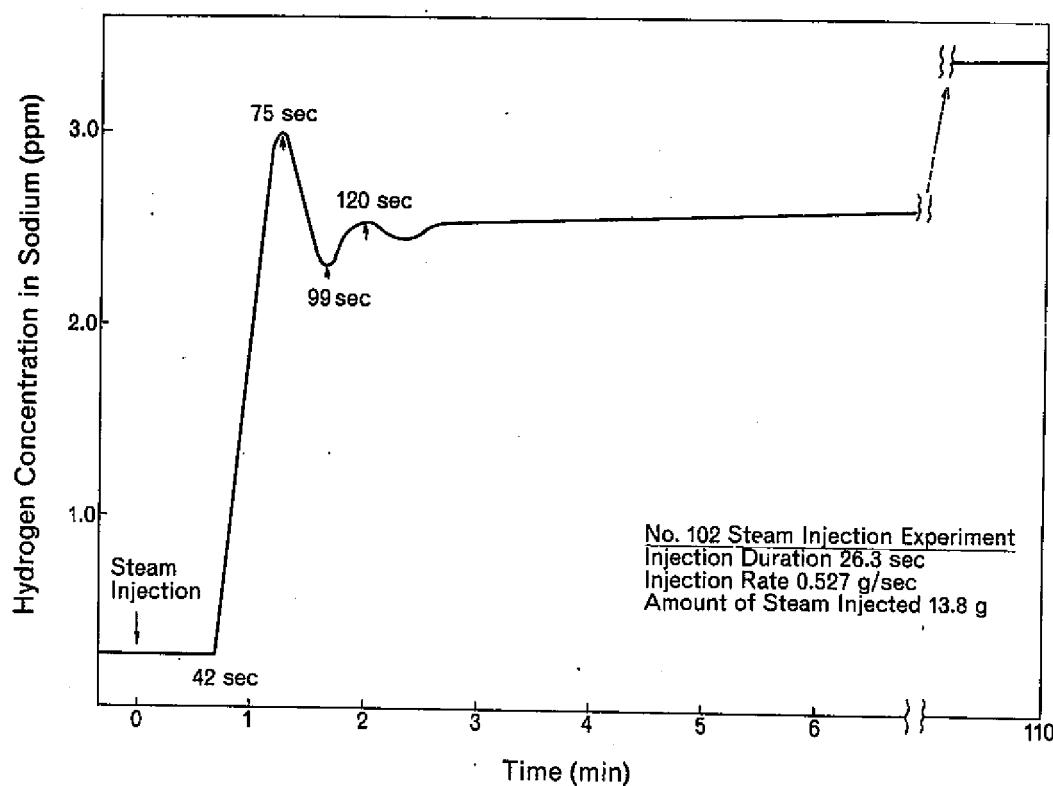
(1) 注水試験における Na 中水素計の応答

注水試験において、バリアン型 Na 中水素計の応答が調べられた。下図にその一例を示す。

計 13 回の注水試験に対して応答が調べられたが、Ni 膜温度 500°C の場合、いずれも注水開始後、約 4.0 秒でイオンポンプ電流に変化が現われた。注水位置から水素計までの Na 輸送時間が約 3.8 秒であることを考えると、水素計自身の検出遅れ時間は 2 ~ 4 秒程度と思われる。

注水開始後、一時上昇した水素濃度が再び減少しているのは、注水が終了したために、きれいな Na が拡散膜に達したためであり、上昇開始から減少しはじめるまでの時間は注水時間と一致している。その後再び水素濃度が上昇するのは、Na がループを一巡して、反応生物が拡散膜部に達したことを示している。もう一度このような変化をくり返した後、Na 中水素濃度は徐々に上昇して、Na 中水素濃度が一様になった時には 3.4 ppm を示していた。

注水実験時の SWAT-2 装置の Na 容量は約 350 ℥ であり、注水量 16.4 g から、注入された水に含まれる水素のうち、Na 中に溶解した水素の割合は約 50~60% と計算される。



(2) まとめ

以上の試験結果をまとめると下表のようになる。

結論

SWAT-2装置に新しく取り付けられたバリアン型Na中水素計の試験により次の事が言える。

- (1) 動的平衡法による測定において、Na中水素濃度CHとイオンポンプ電流Ipの間には
$$C_H = 9.5 \times 10^{-2} \cdot I_p^{0.7}$$
の関係がある。(実験範囲: $C_H \approx 0.1 \sim 1 \text{ ppm}$)
- (2) 水素分圧が高い場合の関係、 $C_H \propto I_p$ とならないのは、水素分圧が小さいため、Ni膜表面への水素分子の吸着の圧力依存性が影響しているものと思われる。
- (3) 静的平衡法による較正曲線により、イオンポンプ電流によって、Na中水素濃度を精度よくモニタでき、再現性も非常に良好である。(動的平衡法)。
- (4) 注水実験に対する水素計の応答より、水素計自身の応答遅れは数秒以下であり、良好な応答を示すことがわかった。

II Ni膜 - イオンポンプ型水素計の性能評価に関する考察

執筆：鐘ヶ江 直道

本項は、日本原子力学会昭和51年分科会
で「小リーク・ナトリウム-水反応試験（第18報）」
として発表したものの講演原稿をもとにしてまとめたも
のである。

上記発表前刷を付録一Ⅱに示す。

(1) まえがき・基本構成

蒸気発生器を有する試験施設およびFBRプラントには伝熱管からの水リーク検出用に必ず水素検出器が設えられる。

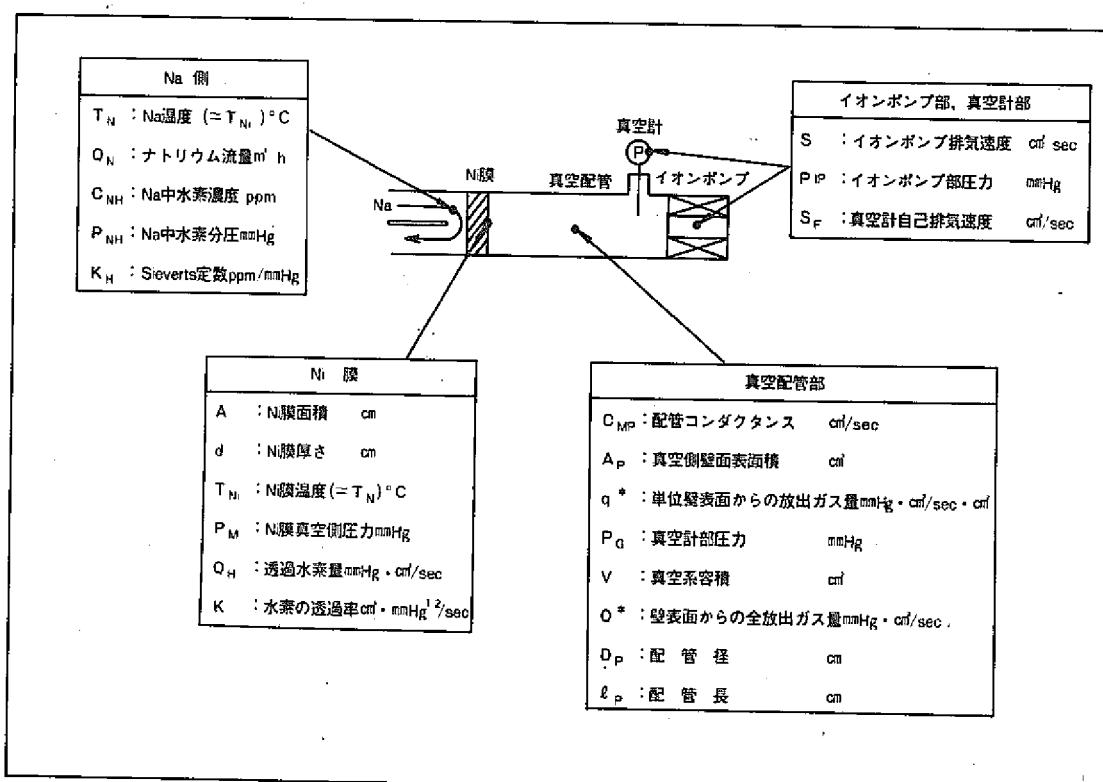
これまで内外で多くの設計、試作が試みられて来たが、拡散膜としてニッケル膜を、真空計としてイオンポンプを用いた、いわゆる Ni 膜-イオンポンプ型水素検出計が脚光をあびるようになり最近の内外のFBRプラント用水素検出計のほとんどに Ni 膜-イオンポンプ型の使用を計画し、試作および使用経験の積み重ねを行っている。

この、Ni 膜-イオンポンプ型水素計は一般的に本図に示す基本構成より成り立っている。

本報告は、この検出計に要求される測定範囲および測定精度に対し、Na側、Ni膜、真空配管、真空計およびイオンポンプ部から成る 20 いくつの各要素が満足いく構成および仕様になっているかを知る方法、すなわち最適設計法とも言うべき内容について報告するもので、得られた結論は全て汎用性ある“特性図”の形に表示しました。

一般に、検出計の運転法、測定法には、イオンポンプを稼動状態におく動的平衡測定法と、イオンポンプを停止し圧力計にて Na 中水素分圧を測定する静的平衡測定法の 2 つがある。したがって、最適設計とはこの 2 つの運転状態から要求される測定精度、範囲に対し満足行く各部仕様、および構成を見出すことに他ならないと言える。

以下、この動的、静的運転から求まる各特性図について説明する。



(2) 検出特性図

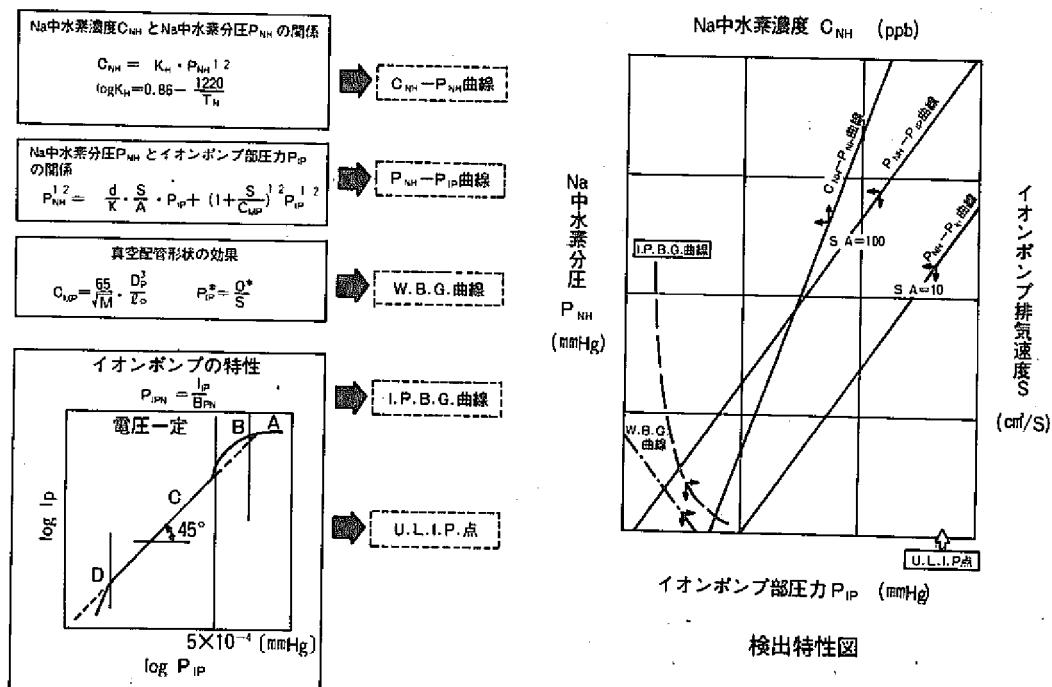
まず、動的平衡運転から求まるもの、これを“検出特性図”と呼ぶが、この特性図について説明する。

本特性図は、4項目の関係から決定される5つの直線および曲線等から構成される。

1つは、Na中水素濃度と、Na中水素分圧の関係を示す $C_{NH} - P_{NH}$ 曲線、次は、Na中水素分圧とイオンポンプ部圧力の関係を示す $P_{NH} - P_{IP}$ 曲線であり、膜温度膜の厚さが一定の場合に、イオンポンプ排気速度SおよびNi膜面積Aの比、 S/A の値をパラメータとして、 $S/A = 10$ の時、 100 の時……と図の様に表わされる。

次は、W.B.G.曲線とI.P.B.G.曲線であるが、これは、使用イオンポンプ排気速度に対する配管からの放出ガスバックグラウンド値、およびイオンポンプノイズのバックグラウンド値をTorr換算で示すもので、主に低濃度側の測定精度の決定因子である。

最後は、U.L.I.P.点で、イオンポンプの圧力計としての使用限界圧力、 5×10^{-4} Torrを示すもので高濃度側測定限界を示している。

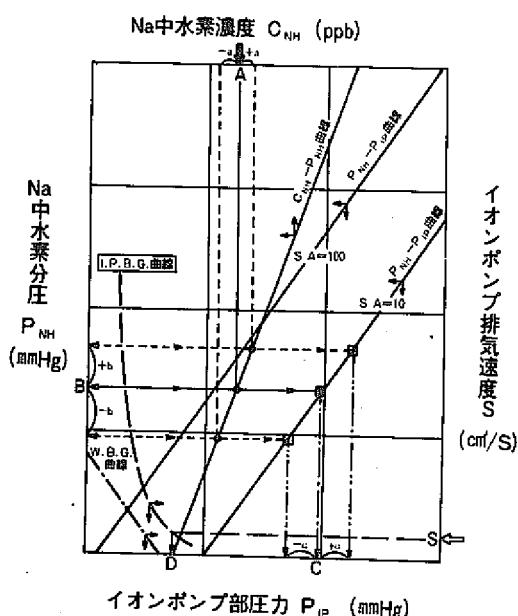


(3) 検出特性図の使い方

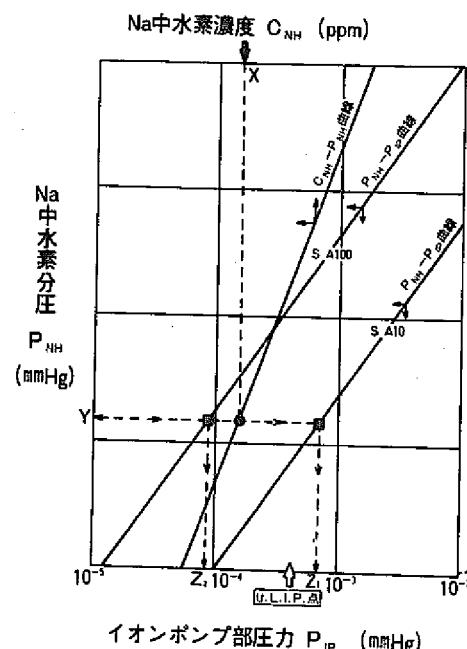
この検出特性図の使い方を、低濃度用と高濃度用の特性図に分けて説明する。

今、低濃度側に要求される濃度および精度を $A \pm a$ とすると、 $C_{NH} - P_{NH}$ 曲線および $P_{NH} - P_{IP}$ 曲線を経て、この変化値 a に対するイオンポンプ部圧力変化は $S/A = 10$ の時、 c であることが判る。一方、使用イオンポンプの排気速度が S の場合、I.P.B.G 曲線よりそのバックグラウンド値は D であることが判る。検出計としての SN 比が大きいためにはこの c/D が「大」でなければならない。本特性図より一般的に低濃度に対して S/A 値は小さい方が好ましいことが判る。

一方、高濃度側に要求される濃度が $X \text{ ppm}$ とすると、同様にたどり $S/A = 10$ の時 Z_1 、 $S/A = 100$ の時 Z_2 となり、イオンポンプの圧力計としての使用限界である U.L.I.P. 点を超えてはならないことから、一般的に高濃度に対して S/A 値は大きい方が好ましいことが判る。



A・低濃度用



B・高濃度用

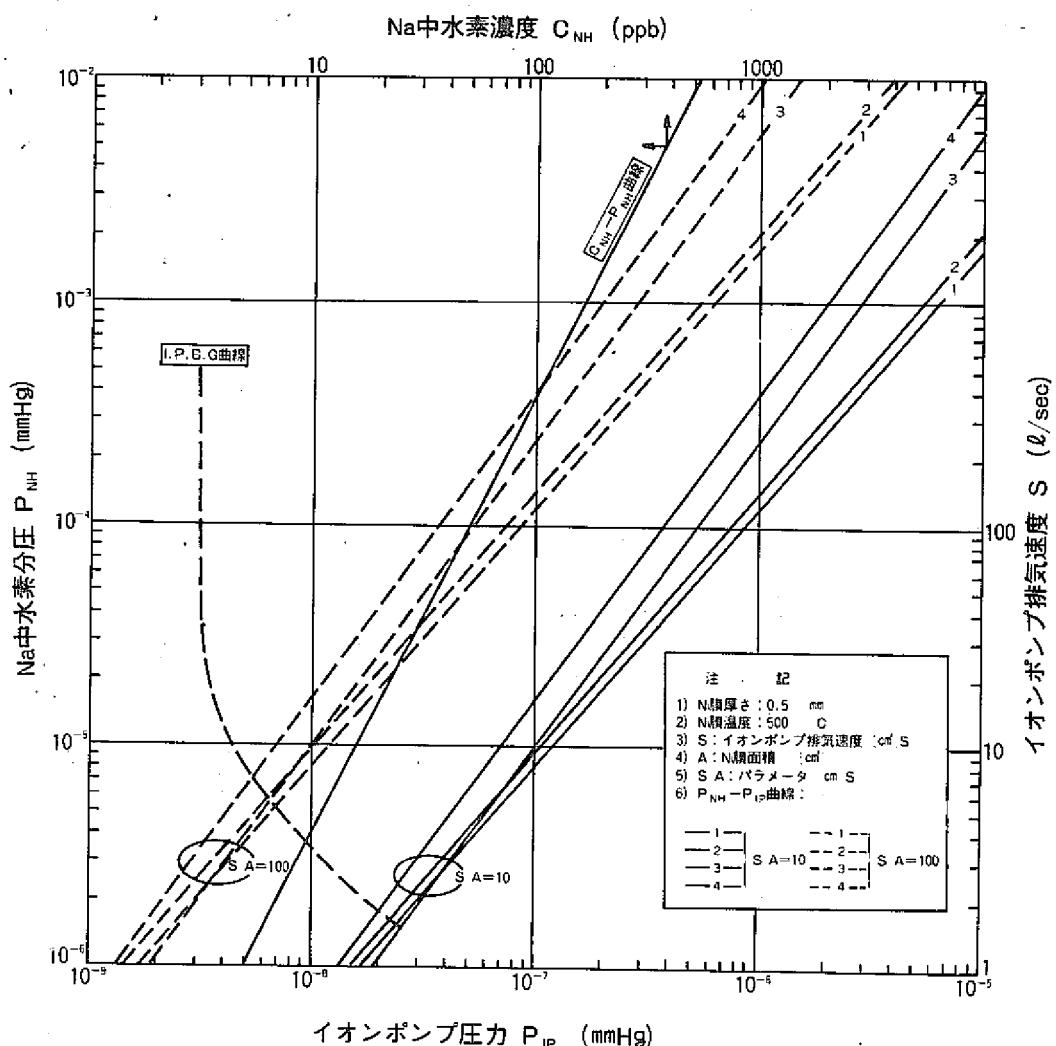
(4) 実用検出特性図(低濃度用)

さき程の図は概念図であったが、本図は膜温度 500°C、膜厚 0.5 mm に於ける実用値をあてはめ作成した低濃度用検出特性図である。

C_{NH} - P_{NH} 曲線およびI.P.B.G曲線が図示したとおり描かれる。

P_{NH} - P_{IP} 曲線は、 $S/A = 10$ と 100 に対し動燃で実験的に得られた 4 つの透過率をあてはめ図示した。

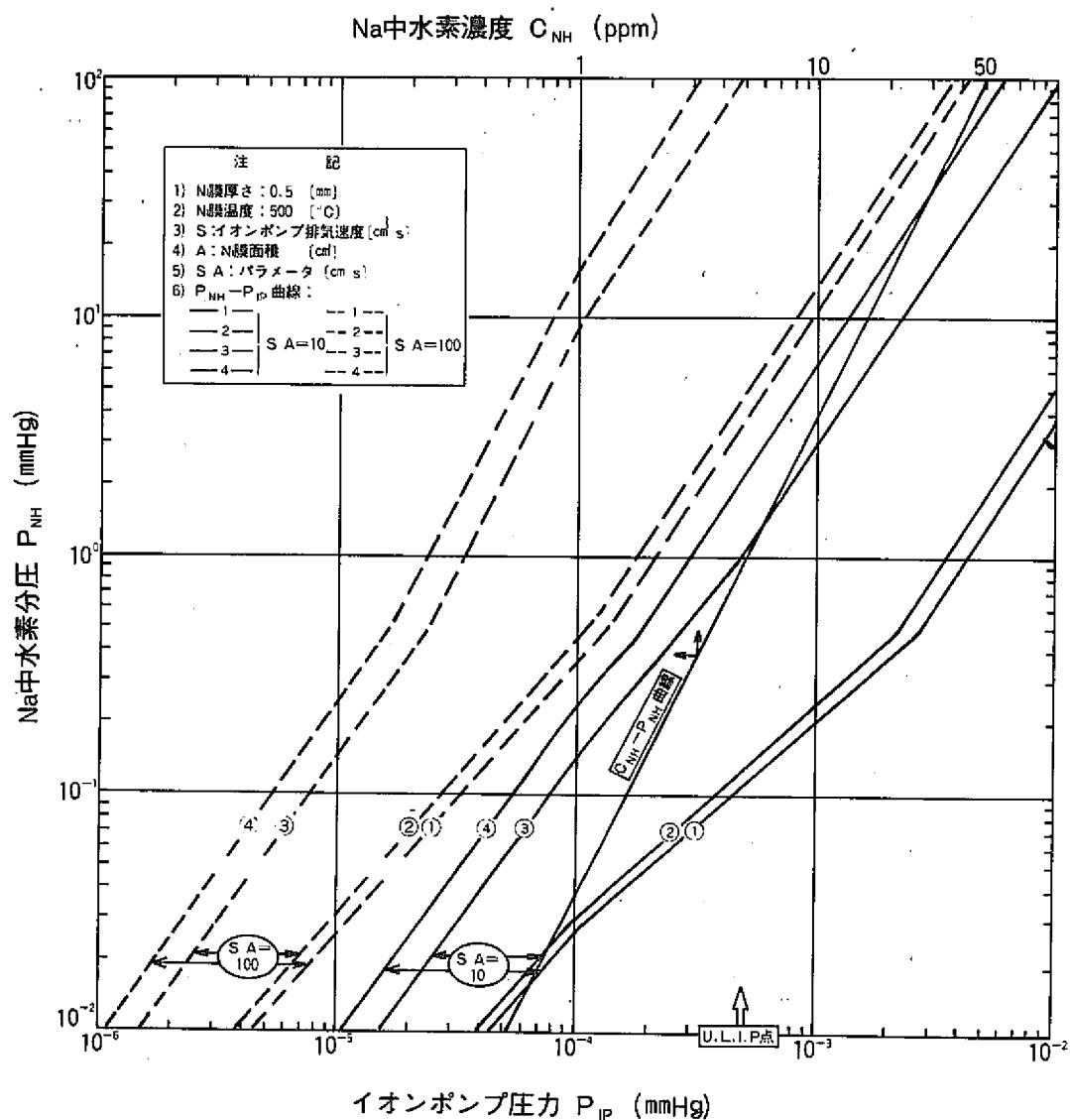
例えば 50 ppb ± 10% の測定精度に対しては、 $S/A = 10$ 程度が望ましいことが前項で示した使用法をたどって行くと判る。



(5) 実用検出特性図(高濃度用)

本図は、同じ条件での高濃度用検出特性図を示したもので、使用透過率値の影響が $S/A = 10, 100$ の両者に現われていることが判るが、透過率の相異を考慮しても 10ppm を測定する場合は、 $S/A = 100$ 位でないと満足しないことが判る。

以上、動的平衡運転から求まる特性図の説明をしたが、次に静的平衡運転から求まる特性図について説明する。

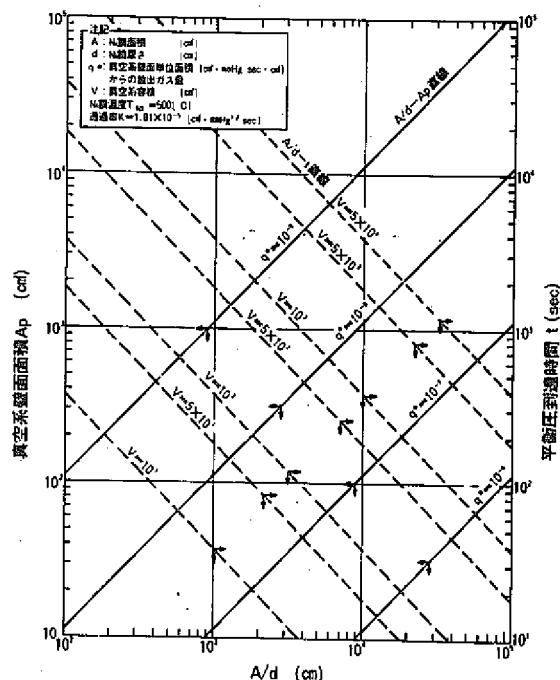
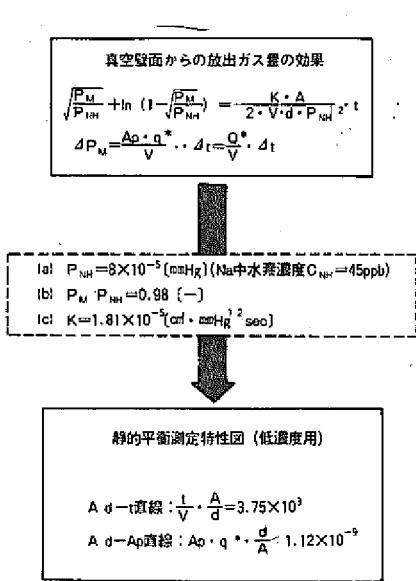


(6) 静的平衡測定特性図（低濃度用）

静的平衡運転から求まる特性図を“静的平衡測定特性図”と呼ぶが、これもまた低濃度用と高濃度用の2つからなり、本図は低濃度側としてNa中水素分圧45ppbにおける特性図を示したものである。

この図からは2つの事が求まる。1つは静的平衡測定に要する時間tと真空部容積Vとの関係、もう1つは真空壁面からの放出ガスによる測定誤差を5%におさえるための真空壁面積Apと放出ガス量q*との関係で、いずれもNi膜面積A、厚さdの比A/dとの関係から求めることが出来る。

例えば先程の検出特性図から決定した膜構造より求まるA/d値に対し、要求測定時間tが判れば、内容積Vをいくら以下に取らねばならないか、また真空壁内面処理による放出ガス量値が判っている場合、内表面積Apをいくら以下におさえねばならないかが判る訳である。



(7) 静的平衡測定特性図(高濃度用)

本図は、高濃度用の静的測定特性図を示すもので、検出計に設置される真空計の自己排気速度 S_F が測定精度に及ぼす効果について図示したものである。

前の低濃度用と同様に A/d との関係で整理され、Na 中水素濃度が 1 ppm, 10 ppm, 50 ppm における測定誤差を 5 %, 10 %, 15 %におさえるのに必要な真空自己排気速度 S_F の値と A/d の関係が求まる。

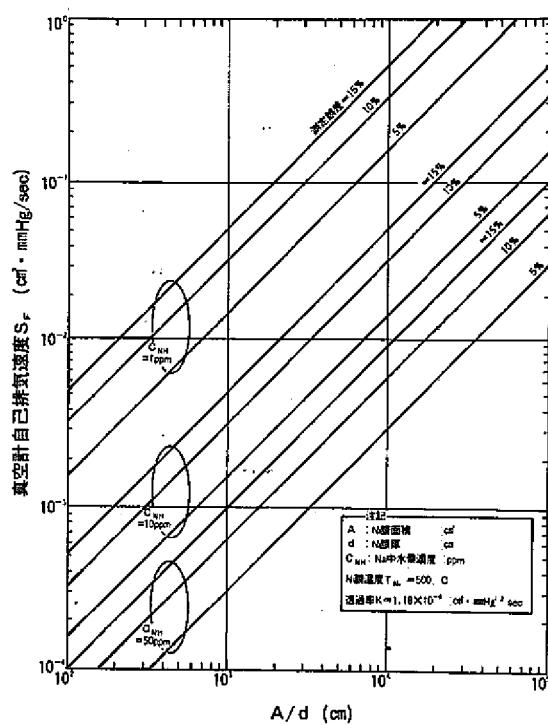
すなわち、自己排気量 S_F が判ると、要求測定濃度および精度、例えば 10 ppm 5 %を満足せねばならない膜面積 A と膜厚 d の関係が求まる訳である。

$$\begin{aligned} & \text{真空計自己排気速度の効果} \\ & \frac{K \cdot A}{d} (P_{NH}^{1/2} - P_M^{1/2}) = S_F \cdot P_0 \\ & P_{NH} = (P_M^{1/2} + \frac{d \cdot S_F \cdot P_M}{K \cdot A})^2 \\ & \frac{P_{NH}^{1/2} - P_M^{1/2}}{P_M} \cdot F_1 = \frac{d \cdot S_F}{K \cdot A} \\ & \text{サーマル・トランスピレーション効果} \\ & \frac{P_0}{P_M} = F_1 = \frac{AX^2 + BX + C/X + T_0/T_N}{AX^2 + BX + C/X + 1} \end{aligned}$$

(a) $P_M > (1 - \frac{X}{100}) P_{NH}$ [mmHg] ($X : 5, 10, 15$)
(b) $F_1 = 1.0$ [-]
(c) $K = 1.18 \times 10^{-4}$ [$\text{cm} \cdot \text{mmHg}^{-2} / \text{sec}$]

静的平衡測定特性図(高濃度用)

$C_{NH} = 1 \text{ ppm}$ ($P_{NH} = 3.8 \times 10^{-2} \text{ mmHg}$)
 $C_{NH} = 10 \text{ ppm}$ ($P_{NH} = 3.8 \text{ mmHg}$)
 $C_{NH} = 50 \text{ ppm}$ ($P_{NH} = 10^7 \text{ mmHg}$)



(8) まとめ

以上得られた考察の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 動的平衡運転から考えられる設計仕様の決定用特性図として「検出特性図」を作成した。本特性図を用いることによって、水素検出計として要求される測定濃度範囲および精度を満足するNi膜面積、厚さおよびイオンポンプ排気速度等の組合せに対する性能評価が可能である。

また

- (2) 静的平衡運転から考えられる設計仕様の決定用特性図として「静的平衡測定特性図」を作成した。本特性図を用いることによって較正試験を精度良く実施するために必要な、真空系容積、表面積、表面処理および真空計自己排気量に対する評価が可能である。

ま と め

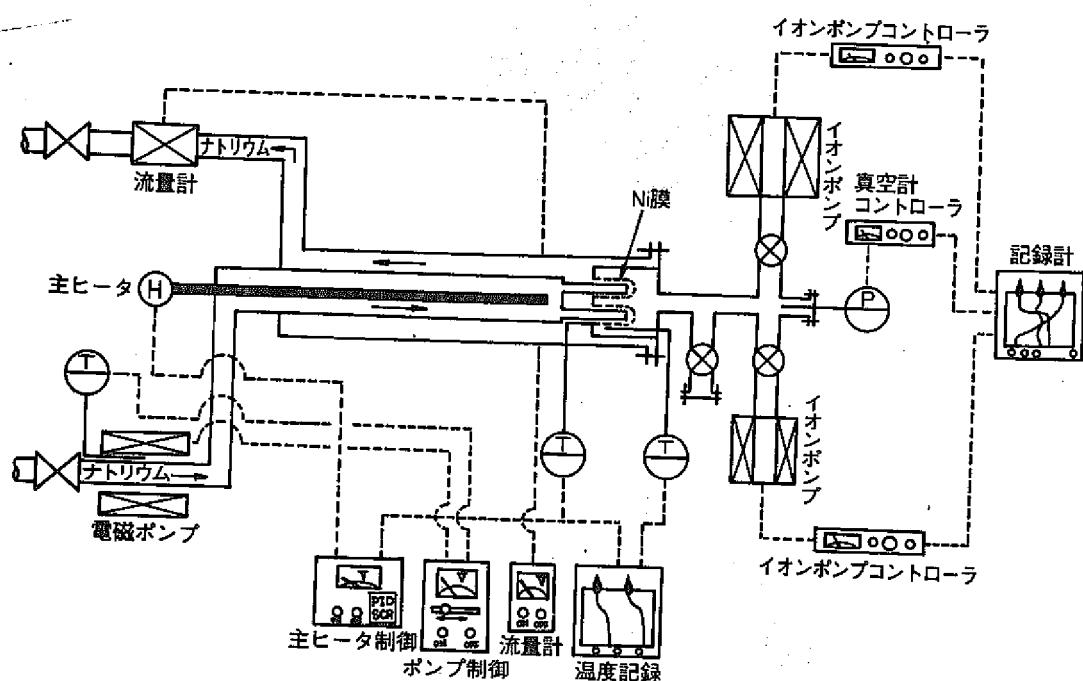
- (1) 動的平衡運転から考えられる設計仕様決定用特性図として『検出特性図』を作成した。同特性図の使用によって水素検出計として要求される測定濃度範囲および精度を満足するNi膜面積、厚さおよびイオンポンプ排気速度等の組合せに対する性能評価が可能である。
- (2) 静的平衡運転から考えられる設計仕様決定用特性図として『静的平衡測定特性図』を作成した。同特性図の使用によって較正試験を精度良く実施するために必要な、真空系容積表面積、表面処理および真空計自己排気量に対する評価が可能である。

(9) 試作 PNC 型水素検出計

本図は、以上説明した最適設計法を基に設計、製作し現在試験を行っているPNC型水素検出計の系統図を示すものである。

Ni 膜は内圧型で、Na は内側で反転する流路構成となっており、先に述べた S/A 値を広く取り測定範囲、測定精度の向上をはかる目的で、排気速度の異なる 2 台のイオンポンプを設置したことを特徴とした検出計である。

Na 側もこれまでになく小型化を目標とし、ポンプを経た Na は、主ヒータ内蔵エコノマイザの内側をとおり 500°Cまで昇温され、Ni 膜部で U ターンエコノマイザ外側流路をとおり主系統へ戻る構成を取っている。



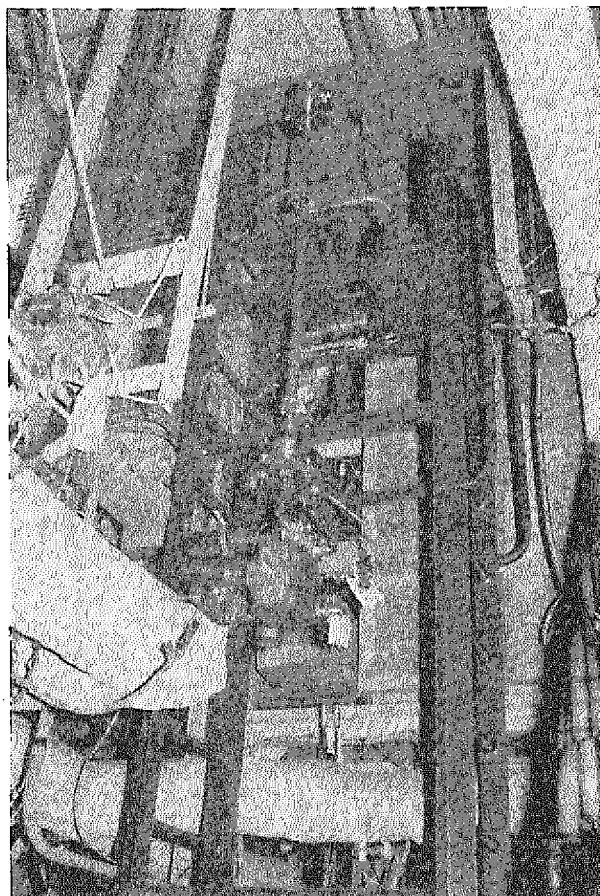
(10) 据付図

この写真は、予熱ヒータおよび保温材を取付ける前の、SWAT-2 装置への据付状態を示すものであり、上部左配管が Na の入口管、中央のたて配管部が主ヒータ内蔵のエコノマイザ、その最下端部分に Ni 膜があり、交換可能とするため Na 側、真空側はフランジで取合う構造になっている。

Ni 膜で U ターンした Na はエコノマイザ外側部を上昇し、上部右側出口管を経て主系統へ戻る。

真空系は、2 台のイオンポンプおよび 2 台の真空計から構成されており、全長は約 1 m 500、このエコノマイザ部外径が約 40 mm であり、Na 側も含めてきわめてコンパクトに出来ていることが判る。

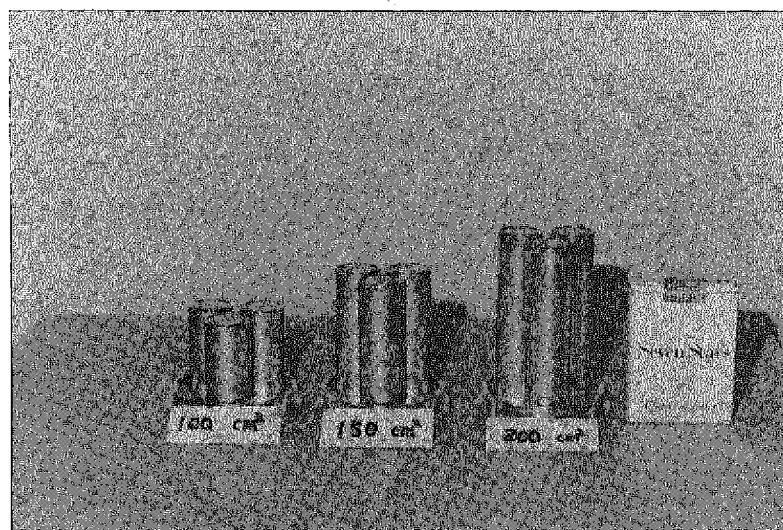
なお、このフランジ部の内側に設置されている Ni 膜の構造は、次に示すとおりである。



(11) Ni 膜の写真

これは、試作品として製作した、3つの面積の異なるNi膜構造を示すものである。それぞれ3本の指状のNi膜から構成されており、この各指の内側をNaが流れる構造となっている。

なお、これ等PNC型水素検出計の詳細および試験結果等については別の機会にて報告させていただく予定である。



III PNC型Na中水素検出計の概要

執筆：鐘ヶ江 直道

本項は、日本原子力学会昭和52年年会
で「小リーク・ナトリウム-水反応試験」（第19報）」
として発表したものである。
上記発表前刷を付録-IIIに示す。

(1) 設計基本方針

Ni 膜一イオンポンプ型水素検出計最適設計法について、本報告書第10報にて報告したが、その設計法に従い設計製作したPNC型 Na 中水素検出計1号機について、その設計思想、構造、ガス中およびNa中試験結果等を本報告と次報によって報告する。

先づ、本検出計設計の基本方針であるが、下図の3項目に設定した。

設計基本方針

1. 実プラント（具体的にはもんじゅプラント）に組込み、リーク検出計としての機能をはたせること。
2. SWAT-2および50MWSGTFに組込み、リーク検出計としての機能および水素挙動追跡のための濃度測定機器としての機能を有すること。
3. 本検出計（系）はNa側も含め小型化をはかることを目標とすること。

(2) 仕様

本表は、先程の基本方針を前報で報告した設計法に反影させて決定した仕様の一覧である。

本検出計1号機は、真空側を2台製作しそれぞれマークI, マークIIを呼ぶが、この両者に共通の仕様としては、測定条件として範囲を45 ppbから10 ppm, 感度を表に示したとおりとし、また拡散膜の材質はNi 201, 形状は強度的に有利で溶接部の少い内圧円筒片持型、厚さは設計圧10 kg/cm² gに耐える0.5 mmを用いた。

使用真空計および本検出計用に特に開発した3 Torrまで測定可能なシュルロゲージを組込んである。またナトリウム系も、2.5 l/min 定格Na流量とし、先程の基本思想(3), すなわち小型化をはかっている。

真空系内容積、内表面積とも約1000 cm³, 1000 cm²である。

使用イオンポンプは低濃度用に2.7 l/sec 高濃度測定用に25.8 l/sec のものを用い、前報で説明したように、イオンポンプ排気速度Sと膜面積Aの比S/Aをそれぞれ測定濃度領域で使いわける方式を探っている。

また、マークI, IIの仕様のちがいはNi 膜面積が200cm²と150 cm²である点、ベーキング条件がNa中試験時で550°C 120 hrと700hr したがって得られた真空系壁面からの放出ガス率がMkIが5×10⁻¹⁰, MkIIは1×10⁻¹¹ Torr・l/sec・cm²である点のみである。

共通仕様

測定範囲	45ppb~10ppm		拡散膜温度	500°C
測定感度	上記値±10%ステップ変化に対し、系入口から30秒以内に検出可能		Na流量	定格2.5 l/min
拡散膜材質	Ni (Nickel201)		設計圧力	10kg/cm ² g
形状	内圧円筒片持型		設計温度	520°C
膜厚さ	0.05cm		内容積	976cm ³
形式	超高真空電離真空計	シュルツゲージ	内表面積	1012cm ²
測定範囲(Torr)	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻³	10 ⁻⁵ ~3	用途	低濃度用 高濃度用
			排気速度(l/sec)	2.7 25

機種別仕様

機種	膜面積	真空系ベーキング条件		
		温度	時間	放出ガス率
マークI(MkI)	200cm ²	550°C	120hr	5×10 ⁻¹⁰ Torr・l/sec・cm ²
マークII(MkII)	150cm ²	550°C	700hr	1×10 ⁻¹¹ Torr・l/sec・cm ²

(3) 系統図

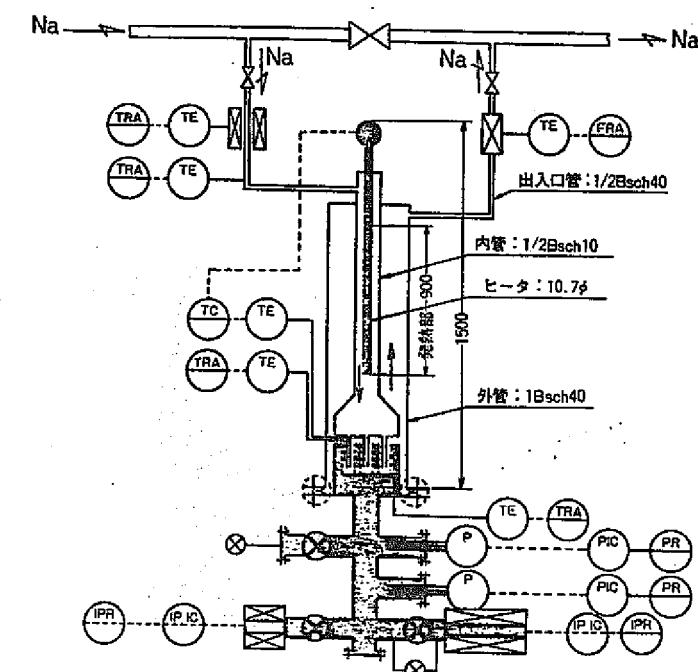
本図が、本検出計の系統図を示すもので、図中上半部がNa側、下側が真空側、その境界部がNi膜である。

主系統より流入したNaは、ポンプを通り、ヒータ内蔵エコノマイザ部の内管側と中心にあるヒータの間を通り500°Cまで昇温され、3本のNi膜へ分配され、膜底板部でUターンし外管、内管の間を通り、流量計を経て主系統へもどる。

エコノマイザ部は、1Bsch 40、全長約1.5m程度であり、例えば動燃の50MWSGTFに設置されている水素検出計用の10m近いエコノマイザと比較するまでもなくきわめてコンパクトになっていることが判る。

真空側は2つの真空計、2台のイオンポンプおよびそれ等をつなぐ真空系配管から構成されており、この一定Ni膜面積Aに対しこの異なる排気速度Sを持つイオンポンプを設置しS/A値を可変としている訳である。

またNa側と真空側はフランジで取合い交換可能になっており、2台のMk I, Mk IIはこのフランジ部で交換し実験を行った。



	電磁ポンプ		Na主ヒータ		Na弁
	電磁流量計		Ni膜		真空止弁
	フランジ構造部		イオンポンプ		
P	圧力(真空圧力)	F	流量	T	温度
E	測定端	C	調節	R	記録
				A	警報

(4) 据付の写真

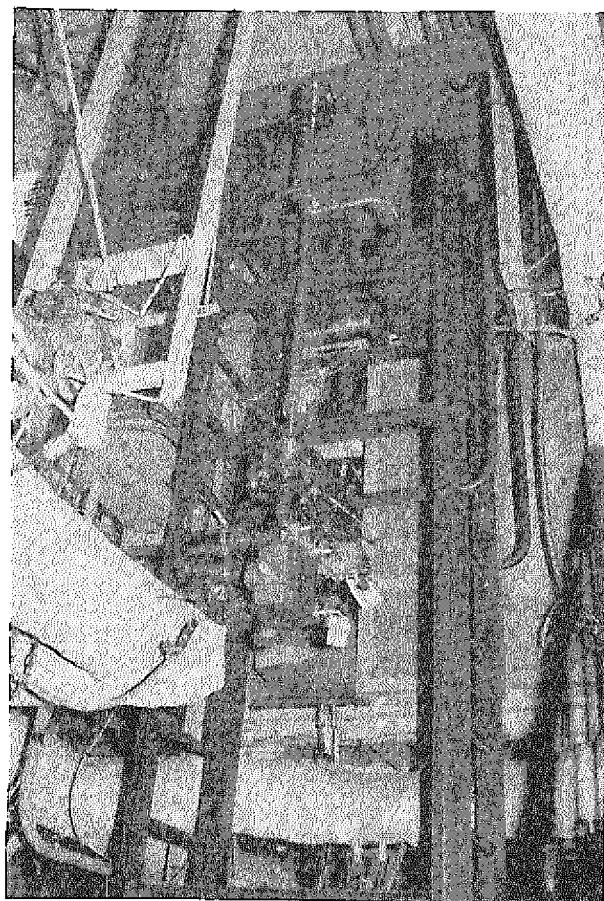
この写真は、完成した検出計をS W A T - 2 へ組込んだ時のもので、予熱ヒータおよび保温施工前の状態を示します。

上部左配管がNa 入口管、中央たて配管が主ヒータ内蔵のエコノマイザ、下部フランジ部の中に3本の指型Ni 膜が入っている。

このNi 膜でUターンしたNa はエコノマイザ外側部を上昇し、上部右側の出口管を経て主系統へ戻る。

2台のイオンポンプが設置され、真空計が2基設置されているのも写真から判るとおりである。

なお、Ni 膜の構造は次の写真に示すとおりである。



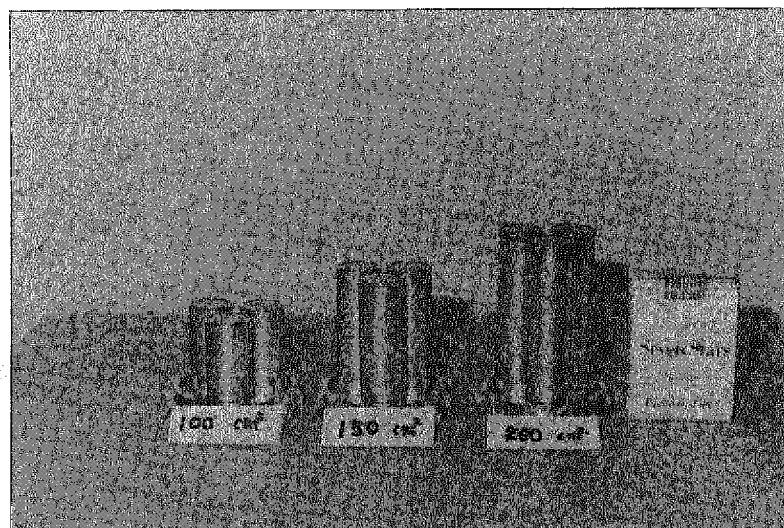
(5) Ni 膜の写真

これが、使用したNi 膜の写真である。

このうち 200cm^2 のものをMk I, 150cm^2 のものをMkII に使用した。いずれも 3 本の指状のNi 膜から構成されており、この各指の内側にNa ディストリビュータが挿入されそこをNa が流れ底板部でUターンする構成となっている。

なお、Ni 膜外径は全て 25mm で面積は、その長さを変えることにより調節してある。

このNi 膜の製造工程を次に説明する。



(6) Ni 膜製作工程

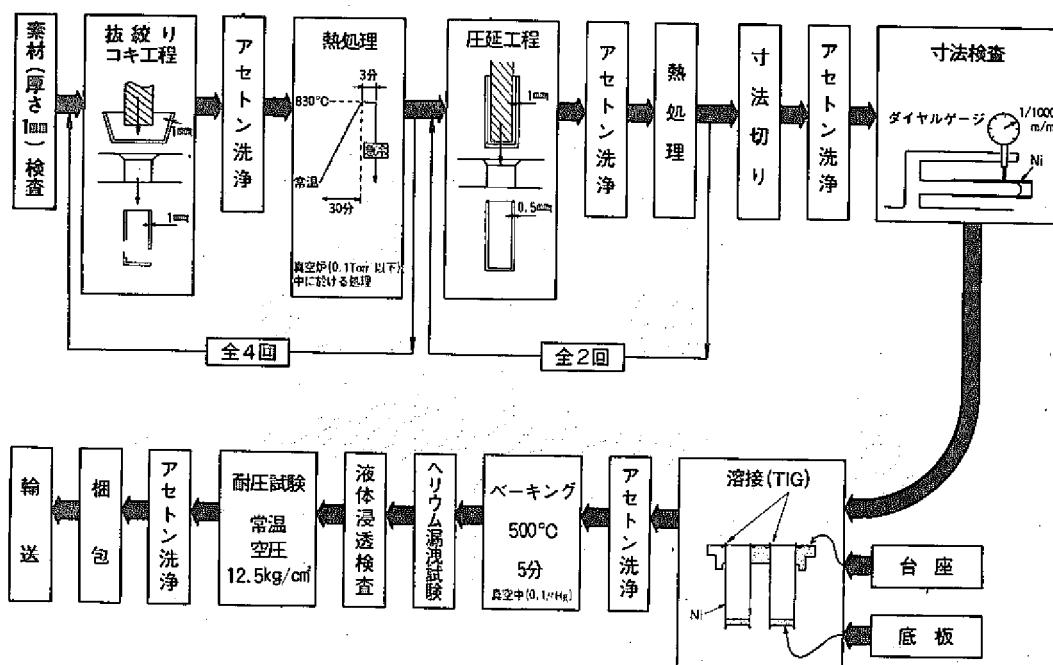
厚さ 1 mm の素材を先づ 4 段階の枝絞り工程で外径 25 mm の円筒に仕上げ、次に 2 段階の圧延工程にて厚さを 0.5 mm まで仕上げるが、いずれも 830°C 3 分の熱処理を施している。

必要寸法に上下を切断し、寸法検査を行い台座および底板と溶接し、He リーク試験、液体浸透検査、耐圧試験を経て完成となるが、この He リーク試験は必ず真空中 500°C 以上の条件によるベーキング処理を行った後実施する必要がある。これは、常温でのみの He リーク試験に合格しても、使用温度である 500°C になるとそれまで水分等で閉塞していた微小の孔からのもれが生ずることもあり得るためである。

本図から判るように、この Ni 膜の構造および製造工程で特徴的な事は、

- (1) Ni 膜素管には例えばたてシームのような溶接部はないこと。
 - (2) 台座等との溶接部も最小限の 2 ケ所におさえられていること。
 - (3) Ni 膜は内圧型で耐圧構造上有理であり片持型のため熱膨張を自由に逃せること。
 - (4) 必ず、真空ベーキング処理を実施した後に He リークを行う必要があることを確認したこと。
- 等が挙げられる。

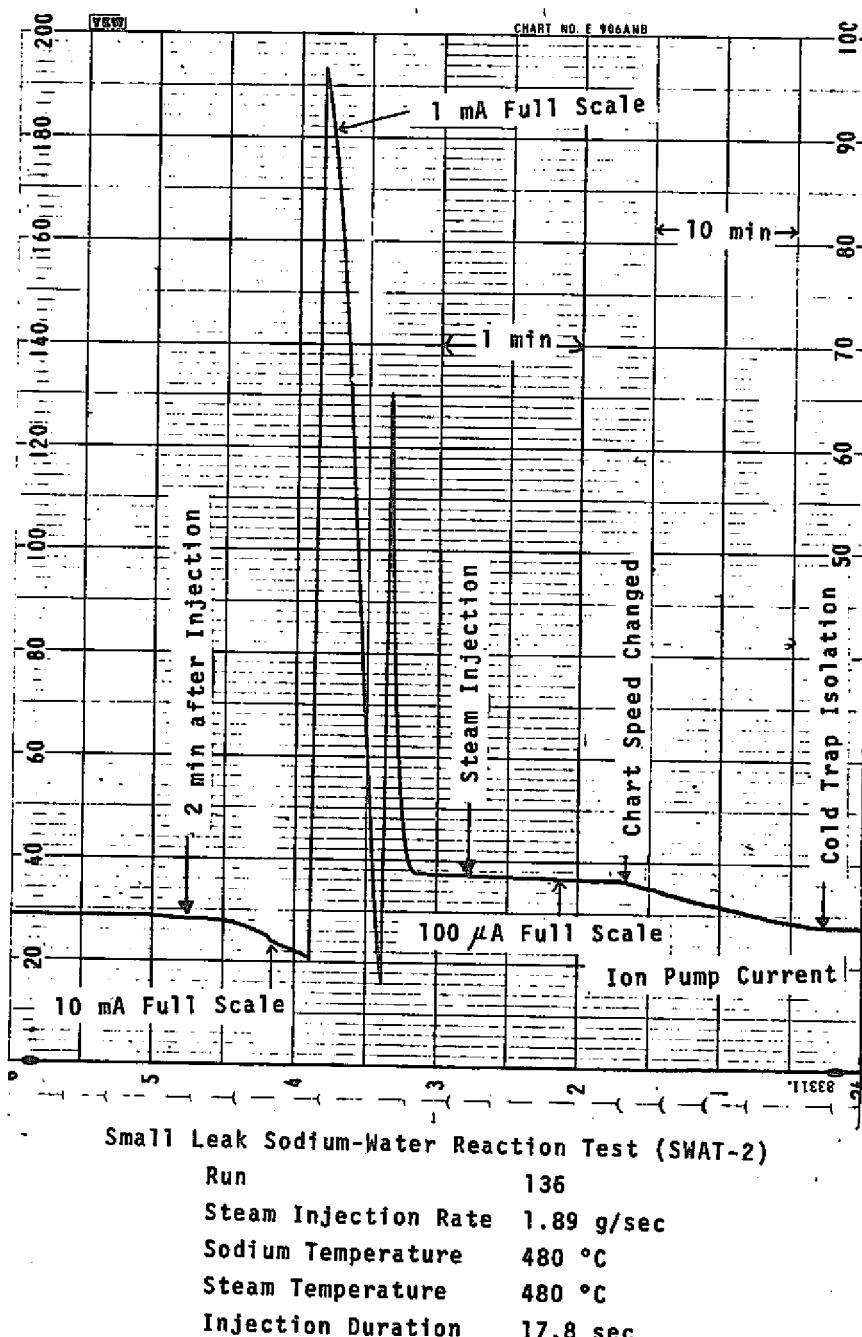
次に、本検出計を用いた測定結果のうち、Na 中試験結果について 2, 3 説明する。



(7) 注水時応答測定例

本図は、SWAT-2におけるNo.136注水試験時の応答例を示すものです。

実験条件は図に示したとおりで、注水開始後Naの輸送時間おくれ約20秒後にきわめてするどい応答を示していることが判る。



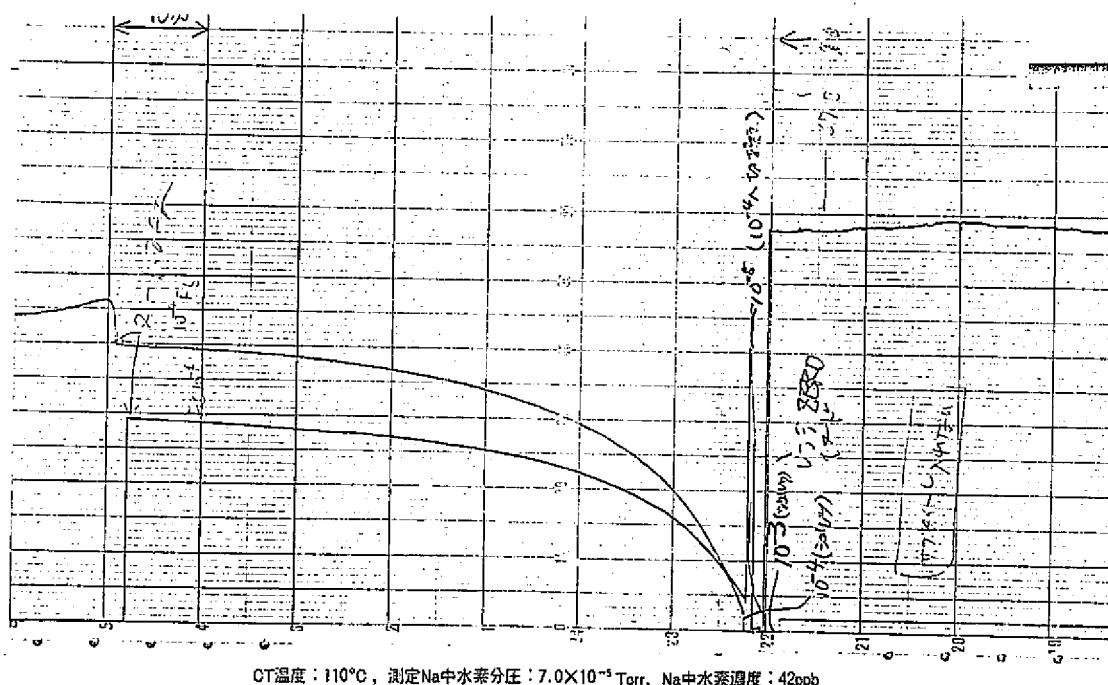
(8) 較正運転時測定例

本図は、いわゆる較正試験時の静的平衡測定の1例を示すものである。

この時点では、イオンポンプを「かくり」し真空側がNa中水素分圧になるまで、シュルッゲージおよび電離真空計の指示値が上昇し、平衡に至っていることが判る。

一般的にはこの静的測定時にはシュルッゲージのみを使用するが、この時は電離真空計の自己排気速度の効果を見るため、両者を作動させ、電離真空計を途中で停止する運転を取った。

2つの平衡値の差が、自己排気量による効果であることがよくわかる。静的平衡圧測定時にはこの自己排気量の補正をせねばならないが、この効果への詳細評価については次報で説明する。



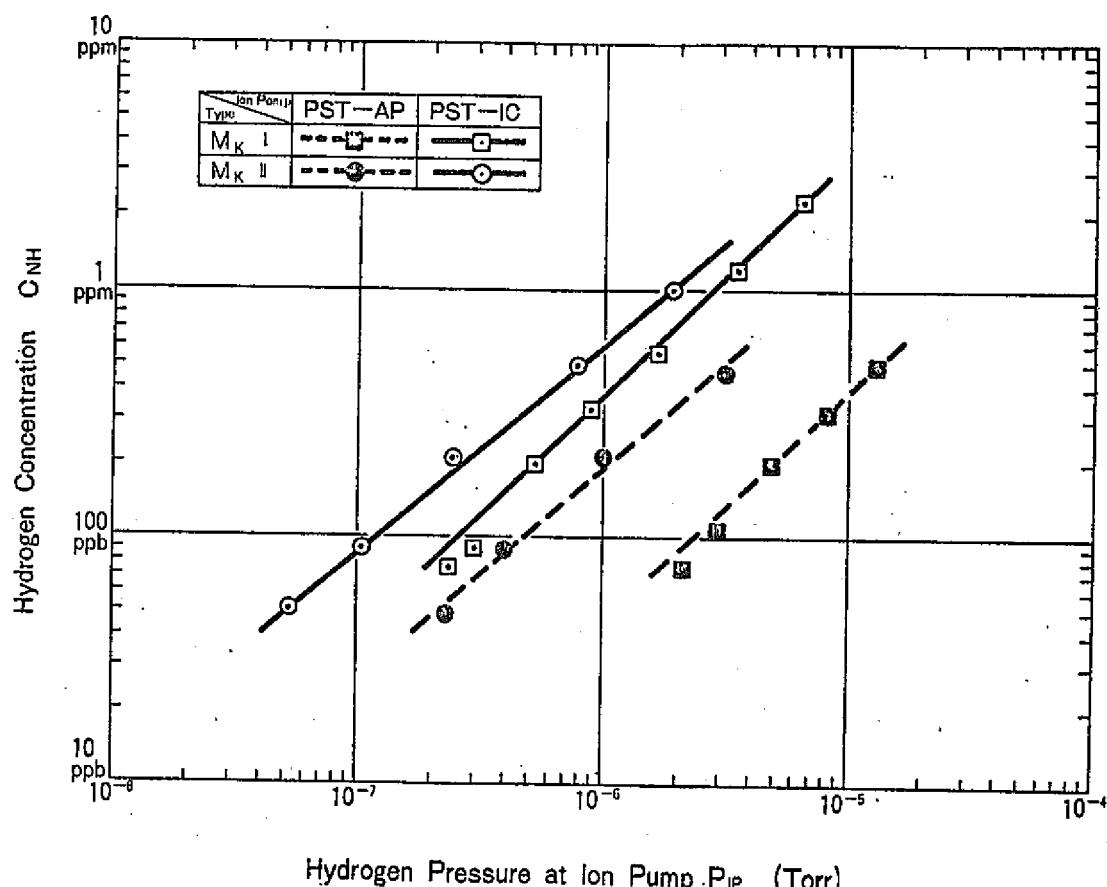
(9) 較正曲線

本図は、PNC型Na中水素計1号機、Mk I, Mk IIの大小2つのイオンポンプに対し得られた、Na中較正曲線を示すもので、白四角の実線がMk Iの大きいイオンポンプ、黒四角の実線が小さいイオンポンプの較正曲線で、破線の白丸、黒丸がMk IIの大、小それぞれのイオンポンプによる較正曲線である。

Mk Iは先程述べたようにベーキング処理が不充分のため、両較正曲線とも90ppb以下になると直線からずれるが、Mk IIでは設計目標値の500°C以上で 1×10^{-11} Torr · l/sec · cm²の放出ガス率までベーク処理を行った結果45ppbまで較正曲線を得ることが出来ていることが判る。

高濃度部はNa中では3ppm程度までしか得ていらないが、次の報告で説明するようにガス中にて10ppm以上まで測定可能であることを確認した。

また、前に説明したS/Aの効果が設計どおり測定されていることも判る。



(10) まとめ

以上、設計およびNa中試験結果の1例を中心に説明したが、次報で報告する内容も含め得られた結論は下図に示すとおりである。

結 言

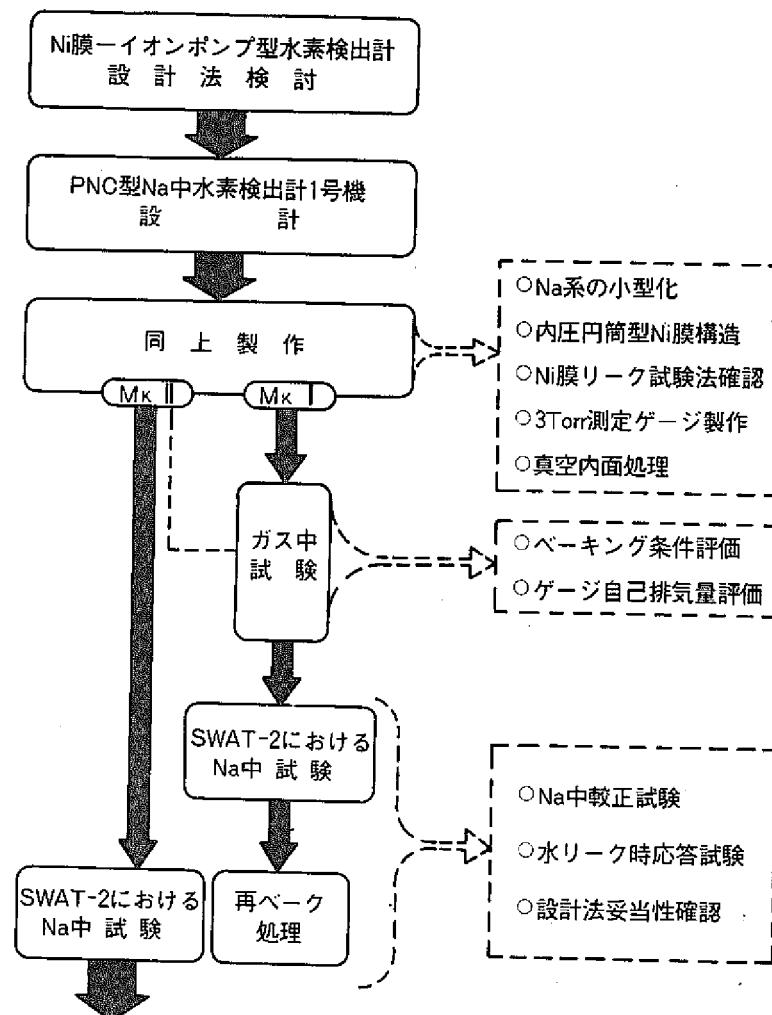
1. 前回報告した設計法に従い、PNC型Na中水素検出計1号機（M_KⅠ, M_KⅡ）を試作し、ガス中、Na中の各種試験を行った。
2. 完成した本検出計は、ナトリウム側も含め、従来のものよりきわめて小型であり、設計当初の目標仕様および特性をほぼ満足し、その設計法の妥当性を確認した。
3. 試作および試験で得られた特徴点は、
 - ①溶接後のNi膜リーク試験法。
 - ②真空側ベーキング条件。
 - ③高圧測定可能シュルツゲージの使用。
 - ④ゲージ自己排気速度の確認。
 - ⑤各検出計毎のNa中較正試験の必要性。
4. 今後の課題として、検出計およびイオンポンプ自体、ゲージ自体の経年評価を含めた長期運転による試験が必要。
5. 1号機の経験を基とし、更に運転法の簡易な検出計（2号機）を設計、試作中である。

(11) 製作・試験経緯

さて以上説明したように、本検出計は本第10報にて報告した設計法をベースに、PNC型Na中水素計1号機として具体的設計および製作を行い、図中の破線内に示した成果を得ることが出来た。

真空側は2台、Mk I, Mk IIを併行して製作し、そのうちMk Iではまずガス中試験を行い、これまで定量的に不明であった、ベーキング条件およびゲージ自己排気量の評価を行った後Na中試験を行った。

一方Mk IIは製作後直接Na中試験のみを行い現在も運転中で、これ等Na中試験では、Na中の較正試験、水リーク時の応答試験を通じて設計法の妥当性を確認した。この設計、製作およびMk I, Mk IIによるNa中試験結果については、本報告で説明したとおりであるが、ベーキング条件および自己排気速度の評価を詳細に行ったMk Iによるガス中試験結果については、次報にて説明する。



IV PNC型Na中水素検出計試験結果

執筆：池本 一郎

本項は、日本原子力学会昭和52年年会
で「小リーク・ナトリウム-水反応試験（第20報）」
として発表したものの講演原稿をもとにしてまとめたも
のである。

上記発表前刷を付録-IVに示す。

(1) 試験装置

本報告はPNC型Na中水素計1号機Mk Iについて、その設計仕様の評価および、設計段階では不明確であった設計パラメータの値の確認のために行なった、ガス中試験の結果について述べたものである。

本試験で特に注目した点は、

- (1) 静的平衡圧測定時のシュルツゲージ・フィラメントの自己排気速度
- (2) 真空系壁面からのガス放出率

である。

特にシュルツゲージ・フィラメントの排気速度の測定や500°Cの高温における真空側壁面からのガス放出率の値は、世界的にもデータがなく、水素計の設計および運転に非常に重要なパラメータである。

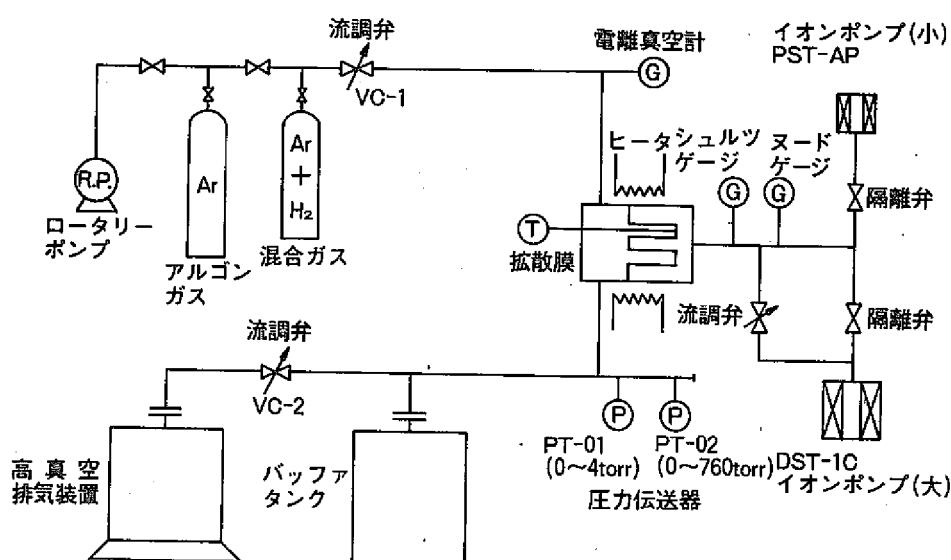
下図は、ガス中試験装置の概略を示すものである。

100ppm, 0.1%, 1% の3種類の水素濃度をもつAr-水素混合ガスボンベから導入された水素は、試験部を通り真空ポンプで引かれている。混合ガスの圧力と流量は、フルスケール4 Torr および760 Torr の2種類の圧力計および出入口の真空用流調弁で一定に保たれる。

拡散膜部の温度は、挿入された3本の熱電対により制御、監視されている。

3種類の水素濃度ガスボンベおよび2種類の圧力計により、ガス中水素分圧は 8×10^{-5} Torr ~ 8 Torr まで変えることができる。

また、真空側壁面からのガス放出率の測定は、ガス側を真空中引き、ガス側からの水素透過が無い状態での、イオンポンプ部圧力から計算で求める方法、およびイオンポンプを隔離した場合の圧力上昇率からの2通りの方法で求めた。



(2) 動的状態における水素圧力分布

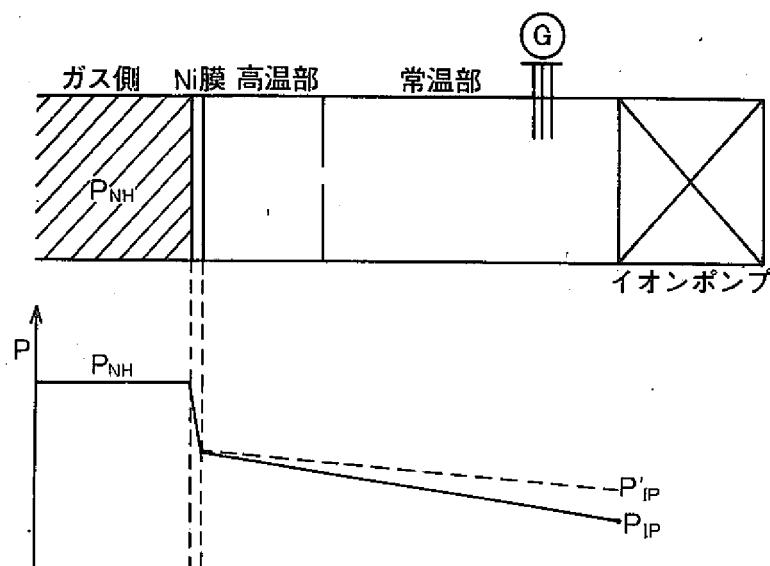
動的平衡状態における水素の圧力分布を模式的に表すと、下図のようになる。

流体側の水素分圧 P_{NH} は一定であり、真空側では、イオンポンプにより引かれているために下図のような圧力分布となり、イオンポンプ部の圧力 P_{IP} は、流体側水素分圧 P_{NH} と対応した圧力を示す。

ガス中試験ではガス側水素分圧 P_{NH} 、イオンポンプ部圧力 P_{IP} 、水素計の仕様は既知であるため、図中の下式により Ni 膜水素透過率 K が求められる。

流体側の水素分圧が低い場合には、真空側壁面からのガス放出によりイオンポンプ部の圧力 P_{IP} が実際の動的平衡関係より高い圧力 P'_{IP} と測定されることになる。

動的平衡状態



$$P_{NH} = \frac{d \cdot S}{K \cdot A} P_{IP} + \left(1 + \frac{S}{C}\right)^{1/2} \cdot P_{IP}^{1/2} \quad (1)$$

$$K = \frac{d \cdot S \cdot P_{IP}}{A \cdot \{P_{NH}^{1/2} - \left(1 + \frac{S}{C}\right)^{1/2} P_{IP}^{1/2}\}} \quad (2)$$

- ここに A : Ni 膜面積 (cm^2)
 C : 真空系コンダクタンス (cm^3/sec)
 d : Ni 膜厚さ (cm)
 K : Ni 膜水素透過率 ($\text{torr}^{1/2} \cdot \text{cm}^3/\text{sec}$)
 P_{IP} : イオンポンプ部圧力 (torr)
 P_{NH} : ガス中水素分圧 (torr)

(3) 静的平衡状態における水素圧力分布

次にイオンポンプを隔離した状態つまり静的平衡状態における水素の圧力分布を模式的に示すと、下図のようになる。

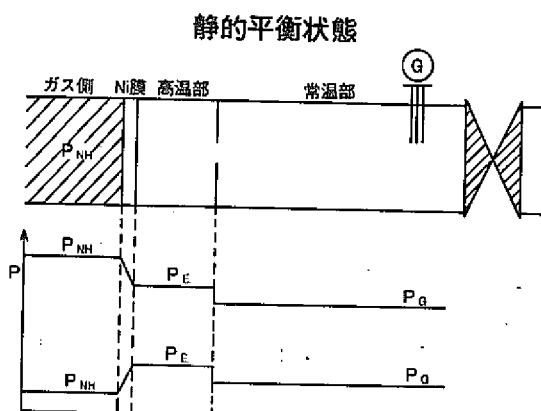
流体側水素分圧の高い場合には、真空側壁面からのガス放出の効果は無視でき、Ni 膜を透過する水素量と、シェルツゲージ・フィラメントによる水素排気量がバランスしているため、サーマルトランスピレーションの効果を考慮すると図中の上に示すような圧力分布となる。

また、流体側水素分圧の低い場合には、ゲージ・フィラメントによる排気の効果は、圧力が低いため、あまり大きな影響を与えないが、こんどは真空側壁面からのガス放出により、図中の下の圧力分布で示すように実際より高い水素分圧を測定することになる。

従って、真空側壁面からのガス放出が無視できる。すなわち、高水素分圧の場合には、動的平衡状態より求めた Ni 膜水素透過率を用いて、Ni 膜を透過する水素量を求め、それがゲージにより排気される量と等しいとおくことにより排気速度 S_F が求められる。

下図から判るように静的平衡圧測定においては、真空側壁面からのガス放出を十分小さくすることと、ゲージのフィラメント排気速度を知って、測定された静的平衡圧から流体側水素分圧を補正して求めなくてはならないことが判る。

以下に本 Na 中水素計の特性試験結果について説明する。



$$\sqrt{\frac{dP_a}{dt}} = \frac{K \cdot A}{d} \{ P_{NH}^{1/2} - (F_t \cdot P_a)^{1/2} \} - S_F \cdot P_a + Q^* \quad (3)$$

$$\sqrt{\frac{dP_a}{dt}} = 0, Q^* = 0 \text{ のとき}$$

$$S_F = \frac{K \cdot A}{d \cdot P_a} \{ P_{NH}^{1/2} - (F_t \cdot P_a)^{1/2} \} \quad (4)$$

$$P_E = P_a \cdot F_t \quad (5)$$

$$P_{NH} = \{ P_E^{1/2} + \frac{S_F \cdot d}{K \cdot A \cdot F_t} \cdot P_E \}^2 \quad (6)$$

ここに F_t : サーマルトランスピレーション値

P_E : 測定平衡圧 (torr)

P_a : ゲージ部圧力 (torr)

Q^* : 真空系壁面ガス放出率 (torr · cm³/sec)

t : 時間 (sec)

V : 真空系容積 (cm³)

(4) ガス中水素濃度とイオンポンプ部圧力の関係

本図は、たて軸にガス中水素分圧、および Sieverts の法則により Na 中水素濃度に換算したもの、横軸にはイオンポンプ部圧力をとてプロットしたものであり、これがすなわち予想較正曲線となる。

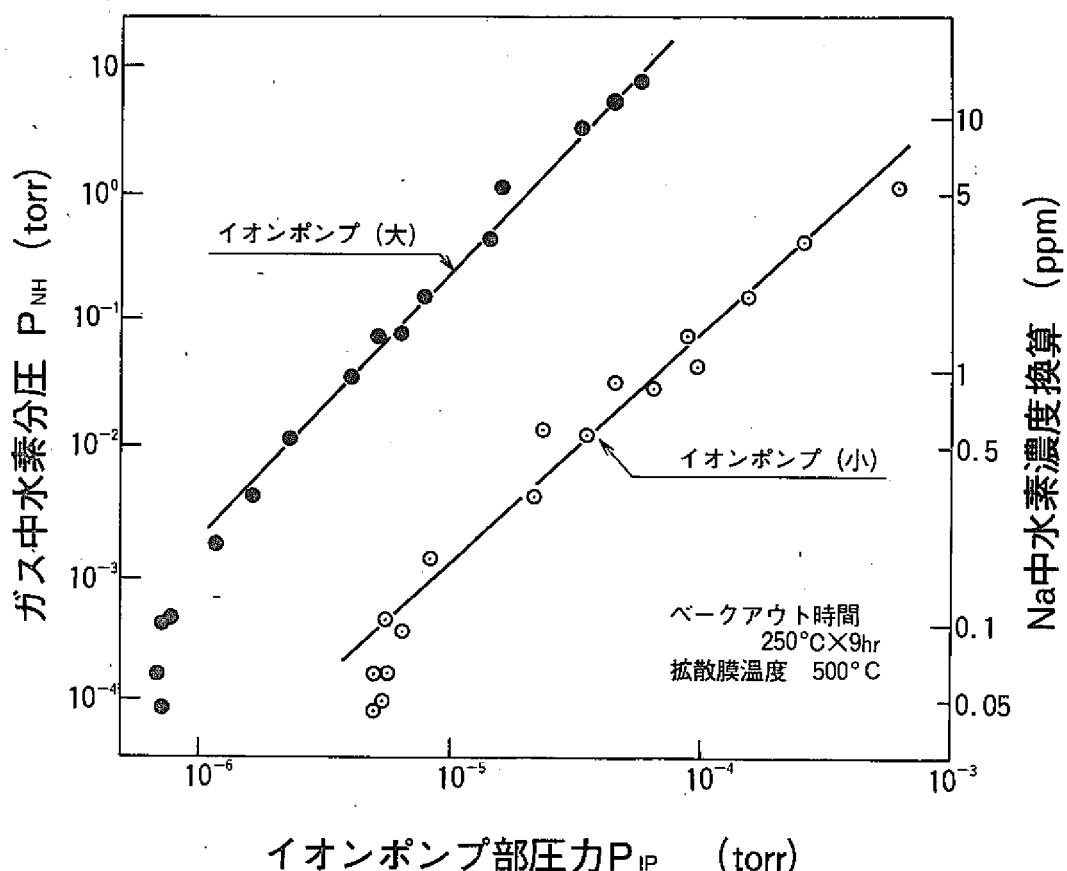
高水素分圧側では、大小2つのイオンポンプとも、ほぼ直線にのっているが、低圧側では直線からずれて、水素分圧が低くなてもイオンポンプ部圧力が低くならなくなる。

このイオンポンプ部圧力の変化しなくなった値が、真空側壁面のガス放出の効果を示しており、それぞれの値にイオンポンプ排気速度 25 l/sec , 27 l/sec を乗ずるとガス放出率が求められる。

本図の場合、ガス放出率は、2つの較正曲線とも $1.5 \times 10^{-8} \text{ torr} \cdot \text{l/sec} \cdot \text{cm}^2$ と計算され、設計仕様より、約2オーダ高い値となっている。

これは、真空構造部のピークアウトが $250^\circ\text{C} \times 9\text{ hr}$ と温度が低く、短時間であったためであることが判り、本水素計の後に製作した Mk II は、 550°C で長時間ピークアウトすることとした。

このピークアウト試験における、ガス放出率の変化の様子について、次に説明する。



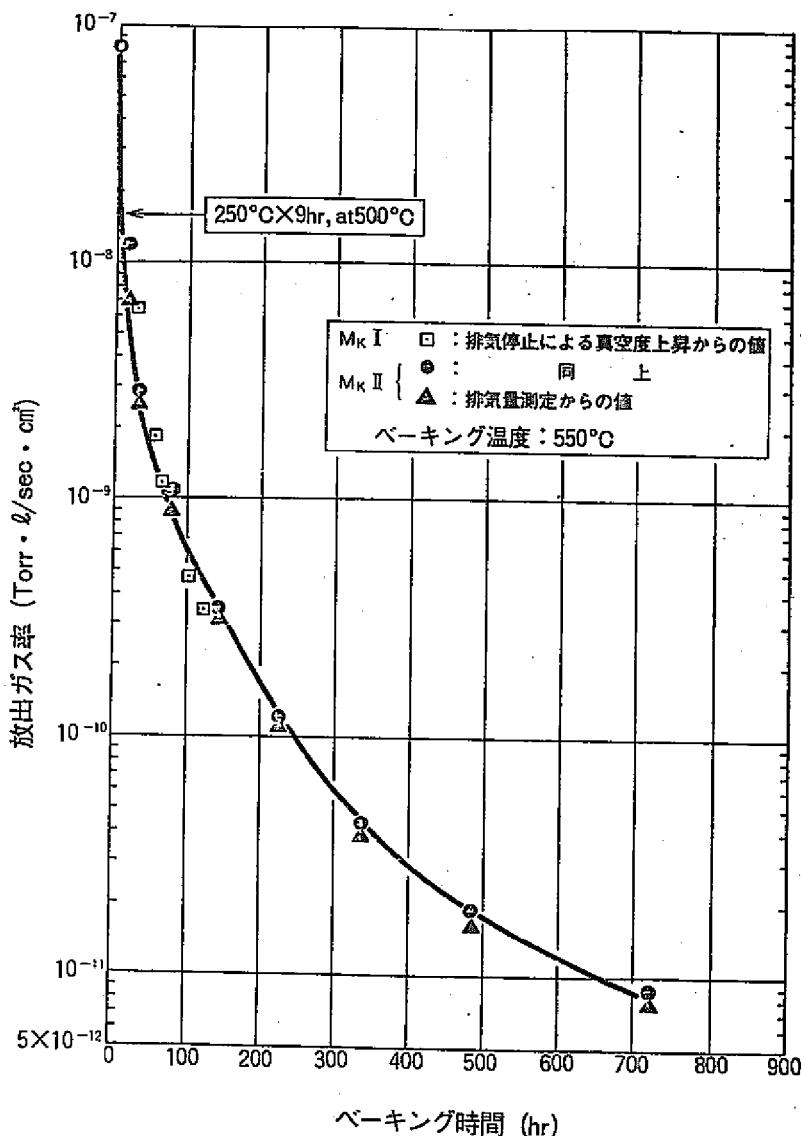
(5) 真空側ペークアウト試験結果

本図はたて軸に真空側ガス放出率、横軸に550°Cにおけるペークアウト時間をとつてある。

図中●と▲印はPNC型Na中水素計MK IIにおけるガス放出率を、先程述べた2通りの方
法で測定した結果を、□印はMK Iについてガス中試験中にペークアウトした結果を示してあ
る。

250°Cで9時間という通常の処理の場合、常温におけるガス放出率は、 10^{-11} torr · l/sec
· cm²以下と仕様を満足していたが、水素計使用温度である500°Cでは 1.5×10^{-8} 、また550
°Cでは 8×10^{-8} torr · l/sec · cm²と3~4オーダもガス放出率が増大している。

しかし、550°Cでベーキングを行なうと、ガス放出率は時間とともに減少し、約650時間後
には、550°Cにおいても 10^{-11} torr · l/sec以下となり、仕様目標を満足するようになった。



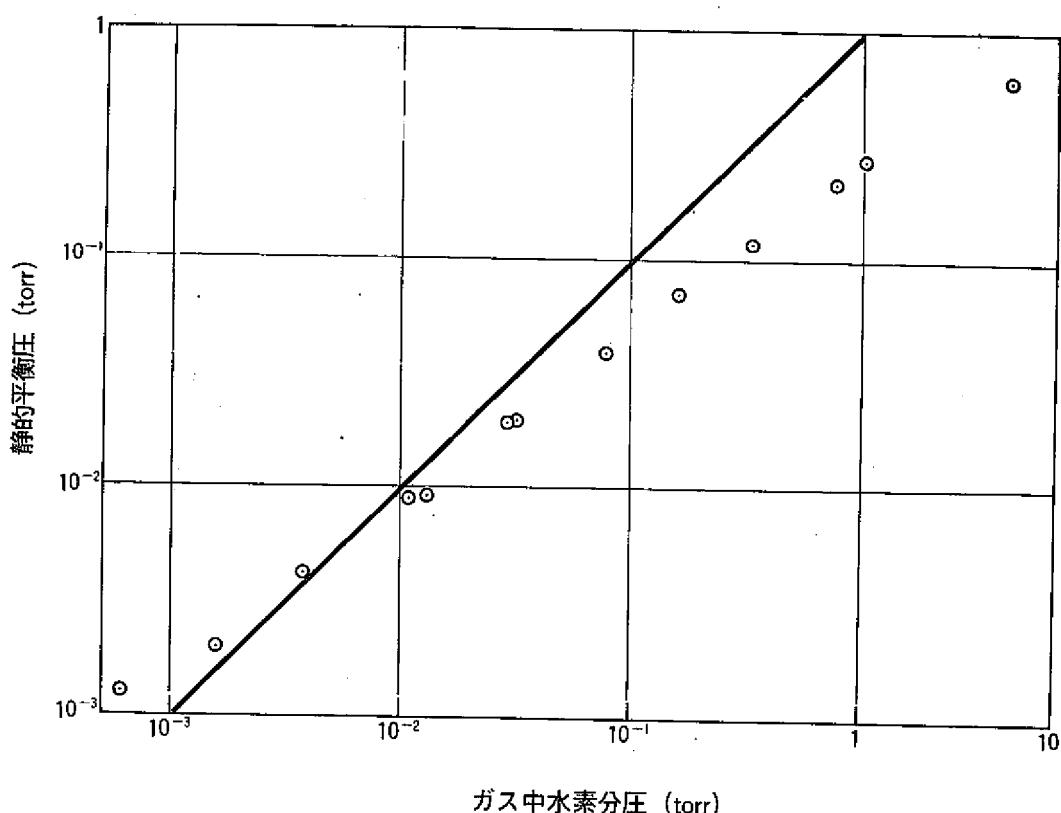
(6) ガス中水素分圧と静的平衡圧の関係

本図は、ガス中水素分圧と測定された静的平衡圧の関係を示したものである。

横軸にはガス中水素分圧を、たて軸には測定された静的平衡圧を示す。

シュルツゲージ・フィラメントの自己排気および、真空系壁面からのガス放出が無視できれば、両者は一致して、実線上に乗るはずであるが、実際は、真空系壁面からのガス放出の効果により低圧側では測定平衡圧が実際より高く、高压側ではフィラメントの自己排気速度により実際より低く測定されている。

本図のフィラメント排気速度の効果が現われているデータについて、透過水素量とフィラメントの排気量の関係から、シュルツゲージ・フィラメントの排気速度を求めたものを次に示す。



(7) シュルツゲージ・フィラメントの自己排気速度

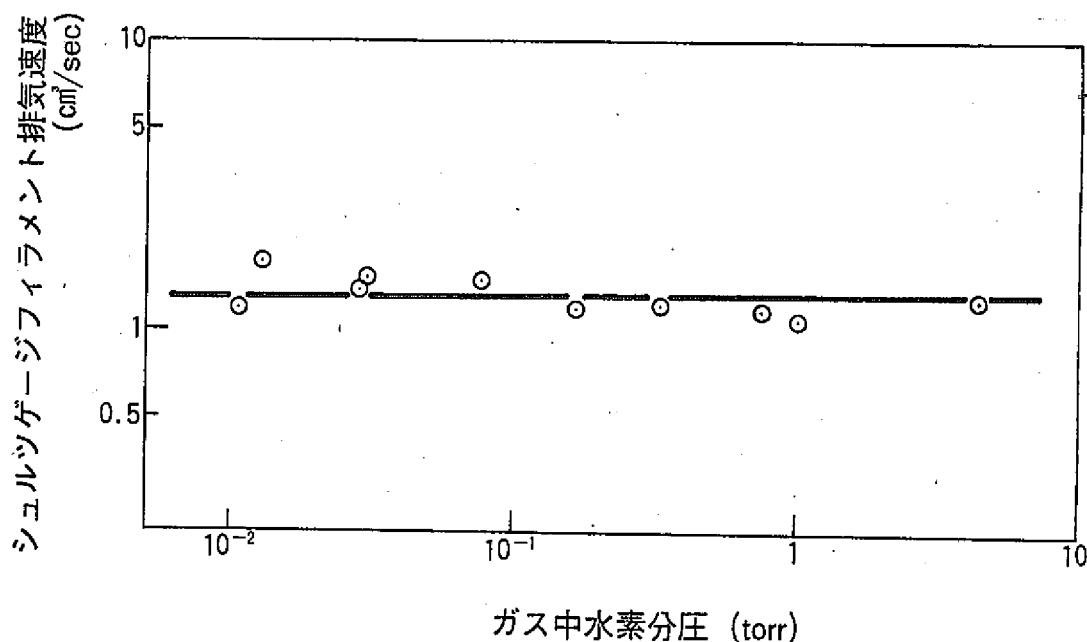
本図は、シュルツゲージ・フィラメントの自己排気速度を示す図である。横軸にガス中水素分圧、たて軸にフィラメントの排気速度を示す。

排気速度は水素圧力に依存せず、約 $1.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ となっている。

しかし、設計仕様によれば、静的平衡圧測定において、ゲージ排気速度の効果が無視できるのは、 $6 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{sec}$ 以下であり、 $1.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ という値は、許容値の 250 倍も大きいことになる。

したがって、電離真空計を使用して静的平衡圧を測定する場合は、測定平衡圧に対してゲージの排気速度の効果の補正が必要となる。

ゲージの排気速度が測定平衡圧にどの程度影響を与えるかを示すものが次の図である。



(8) 静的平衡圧測定におけるフィラメント自己排気速度の影響

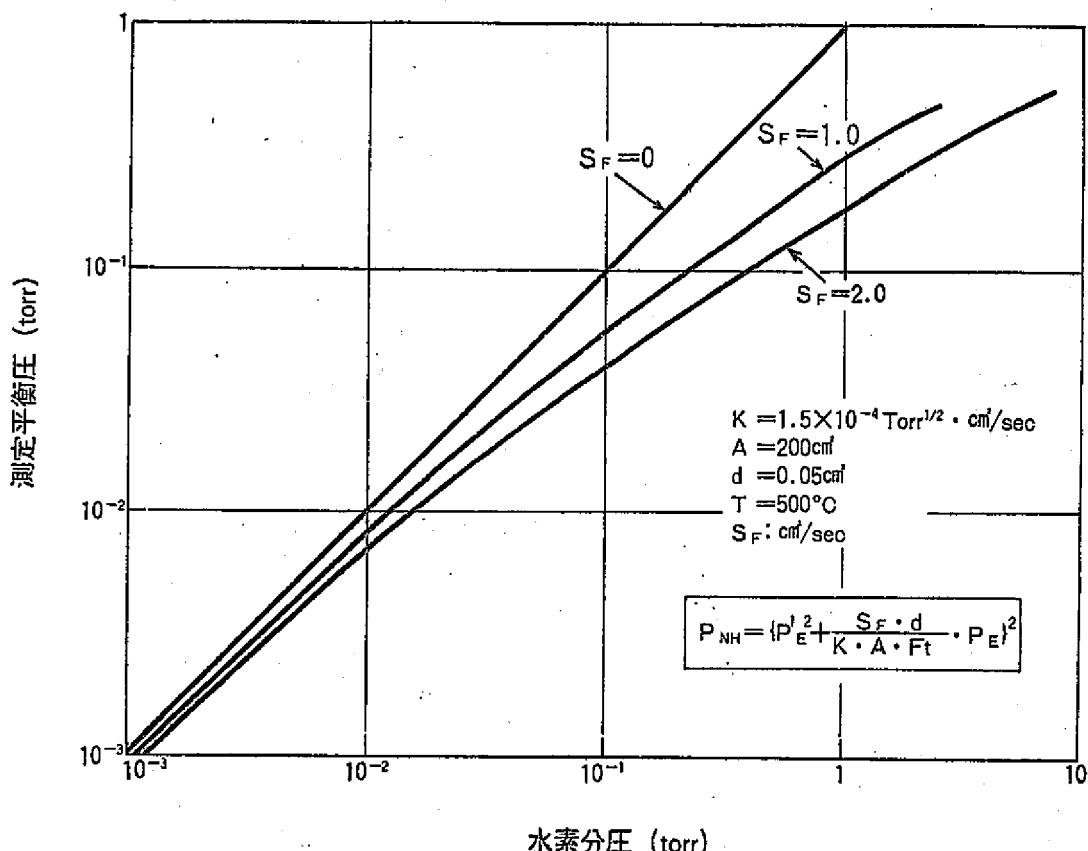
本図は、横軸にガス中あるいはNa中水素分圧、たて軸に拡散膜部圧力すなわち測定される静的平衡圧をとり、両者の関係を見たものである。

電離真空計に排気速度がない場合は、当然両者は一致するが、ゲージに少しでも排気能力があると、測定される静的平衡圧は実際のNa中あるいはガス中水素分圧より低くなる。

図中の2本の曲線は、本Na中水素計について、ゲージ排気速度が、それぞれ1および $2\text{ cm}^3/\text{sec}$ の場合の関係を示したものである。

ゲージ排気速度の効果は、排気量が、排気速度と圧力の積となるため、低圧側ではあまり顕著に現われないが、高圧側では非常に大きく現われる。

たとえば水素分圧 10^{-3} torr では約10%低目に測定されるだけであるが、 1 torr では70~90%も低く測定される。従がって、拡散膜型水素計において、電離真空計により静的平衡圧を測定して、Na中あるいはガス中水素濃度を求める場合、電離真空計フィラメントの自己排気速度を定量的に把握し、補正する必要がある。



(9) まとめ

以上のPNC型Na中水素計1号機MKIのガス中試験の結果をまとめると下表のようになる。

ま　と　め

PNC型Na中水素計1号機のガス中試験およびガス放出率測定試験の結果、以下のことが判った。

(1) 真空系壁面からのガス放出率

ベーキング条件	温 度	ガス 放 出 率
250°C×9hr	500°C	1.5×10^{-8} torr・l/sec・cm ²
〃 "	550°C	8×10^{-8}
550°C×700hr	550°C	8×10^{-12}

(2) シュルツゲージフィラメントの排気速度

(1) 排気速度は 1.5×10^{-3} l/sec

(2) 静的平衡圧測定に電離真空計を使用する場合は補正が必要となる。

(3) または、排気能力のない真空計の使用

V PNC型Na中水素検出計（静的・動的室分離型）

執筆：堀 雅夫

本項は、日本原子力学会昭和52年分科会
で「小リーク・ナトリウム-水反応試験」（第21報）」
として発表したものの講演原稿をもとにまとめたもの
である。
上記発表前刷を付録-Vに示す。

(1) 基本方針

蒸気発生器における水リークの検出のためのNa中水素検出計については動燃においてこれまで多くの研究・開発を行ってきた。

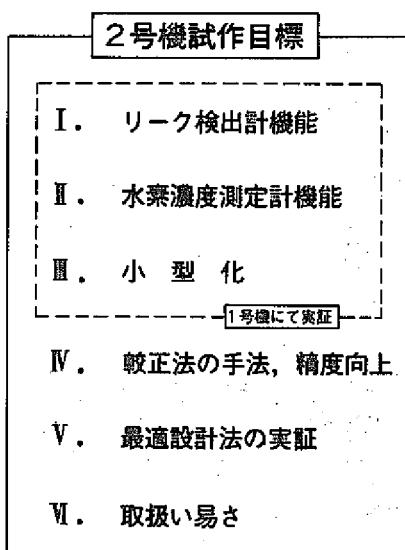
これらの開発経験をもとに、2年前より高速原型炉「もんじゅ」用のPNC型のNa中水素検出計を設計し、各種の試験を始めており、その結果はすでに本学会において発表している。これらの試験結果に基づき、更に実用性を高めるための構造上の改良を行った。今回はこの改良型のPNC型水素計——2号機と呼ぶ——につき、その構造上の特長と試験結果を報告する。

PNC型Na中水素検出計の開発目標の主要点は以下の表に示す通りである。すなわち

- I リーク検出計としての機能を有すること。
- II 水素濃度測定計としての機能を有すること。
- III 従来のものに比べて小型であること。
- IV 較正方法の確立とその精度の向上。
- V 使用条件に合せた最適設計法の実証。
- VI 実用計測器としての取扱い易さ。

以上が主要な開発目標である。

とくにIVの較正方法に関しては、Na中水素計は今までの経験からその濃度指示値に経時変化が認められ、リーク検出計として使用する際にも適時使用中較正を行えるタイプの方が望ましいと判断して今回の改良の主目標とした。



(2) 系統図

この図が改良型の系統図であり、その最も特徴的なことは、真空系を2つの「室」に分離独立させたことにある。

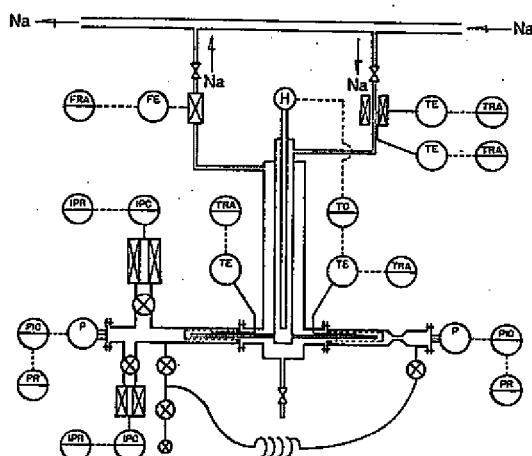
この図の左側を動的平衡測定室（動的室）と呼び、Ni膜、イオンポンプ、ヌードゲージおよびそれらをつなぐ真空配管から構成されている。

この図の右側を静的平衡測定室（静的室）と呼び、動的室に設けたのと同じ形状のNi膜と静的平衡圧測定用のシュルツゲージから構成されている。この静的室の容積と内表面積は出来るだけ小さくしてある。この静的室の排気を行うため、両室は2つの真空止弁を介して連結されており、連結配管にはNi膜交換等のメインテナンスの場合を考えてフレキシブル・チューブを用いている。

なお、動的室に2台のイオンポンプを設置したのは、測定濃度範囲を拡げるためであり、濃度がそれほど大きく変わらない実機プラント用では1台のイオンポンプで充分である。

Na系統は1号機と同様の構成になっており、主系統から分岐したNaは1/2インチの配管で電磁ポンプを経てヒータ内蔵エコノマイザの内管を通り500°Cまで昇温される。このNaはディストリビューターで2つに分れ、各々UターンしてNi膜部を通り、エコノマイザーで温度が下がって流量計を経て主系統のもどる。寸法はエコノマイザー部の外径が34mmで、全体の長さが1.5mと非常にコンパクトに出来ている。

Naと真空側の接点にあるNi膜は強度上有利な内圧円筒と真空側は交換を容易にするためフランジ結合になっており、リップ溶接でシールされている。



	電磁ポンプ		主ヒータ		イオンポンプ
	電磁流量計		ニッケル膜		フレキシブルチューブ
	フランジ		Na止弁		真空止弁
	現場計録	P	正圧(真空圧)	F	流量
	中制御計録	IP	イオンポンプ	G	制御
E	測定端	I	指示	A	警報
			T	温度	R
					記録

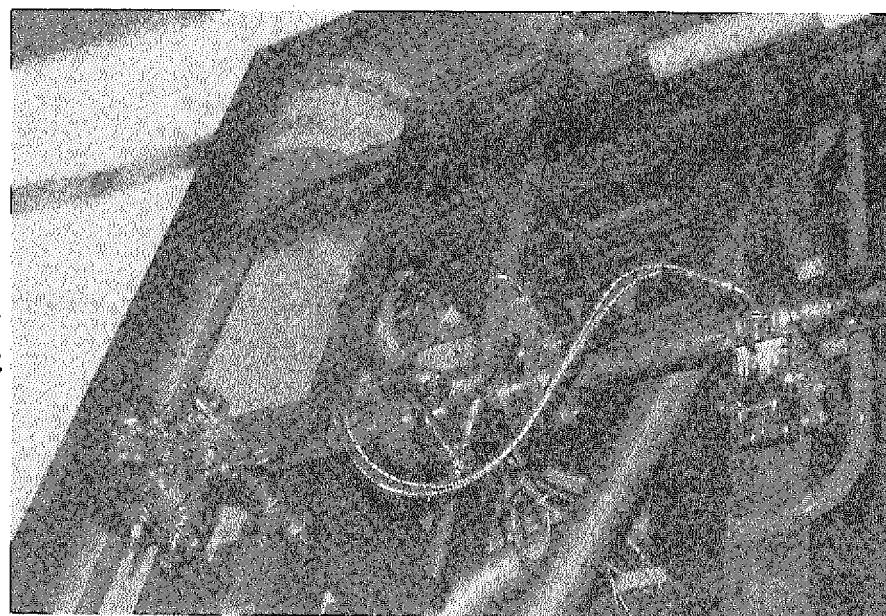
(3) 装置据付状態写真

この写真が、試験装置へ据付けた保温施工前の状態である。

十字架型のたて配管部が Na ヒータ内蔵エコノマイザーであり、その上部右側の配管が Na 入口配管、その上の左側の配管が Na 出口配管である。

十字架型よこ配管の右側は静的室で先端にシュルツゲージが据付けられている。このゲージとフランジの中間に見える配管くびれ部は 500°C になる Ni 膜からの輻射熱からゲージを保護するために考慮した構造でこの内部に更に、熱遮蔽板が設けられている。また左側は動的室であり、2 台のイオンポンプおよびヌードゲージが据付けられている。

写真から判るとおり、両室はフレキシブルチューブで連結されている。また下部にはドレン用バルブおよび配管（ここでは先端盲となっている）が接続されている。



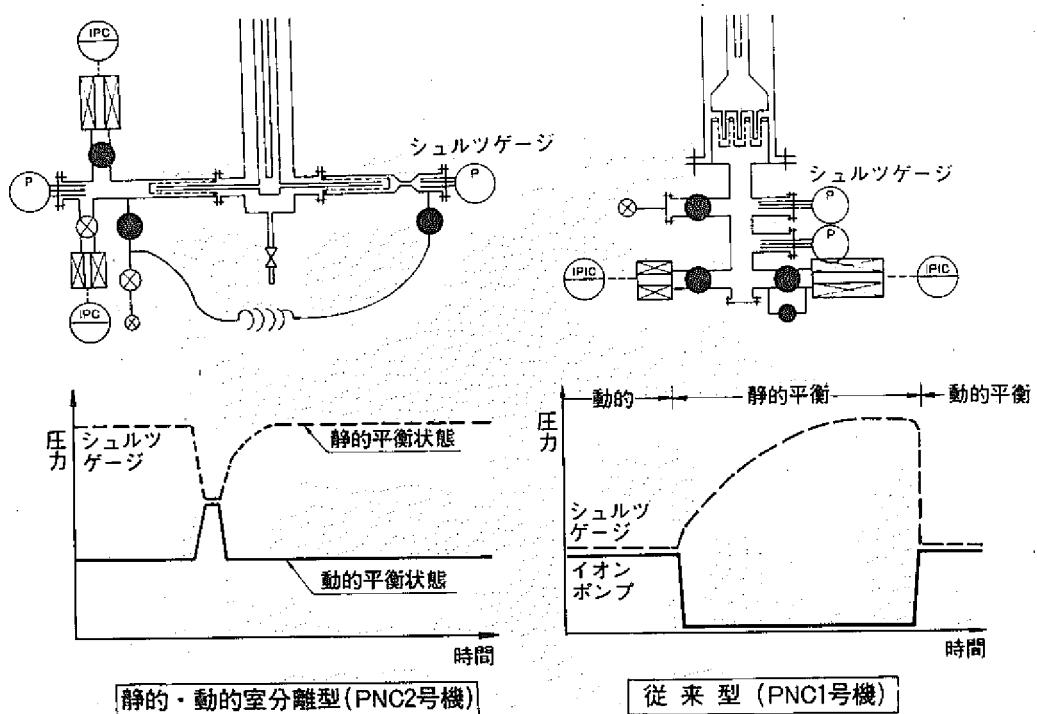
(4) 較正運転法の比較

2号機では較正方法に改良がなされており、この表は従来型の1号機と改良型の2号機の較正運転の方法を比較したものである。

従来型の1号機の場合は較正運転に入る時にイオンポンプ用止弁を「開」とし排気を止めることにより、真空側の水素圧力とNa中の水素分圧を平衡させる構造となっており、この間はイオンポンプが作用しない訳であるからリーク検出計としての機能は当然失われる。

一方、2号機の場合は静的室が独立しているため、静的平衡運転の際中でも動的平衡によるリーク検出機能は保たれる構造となっている。ただし、長時間静的平衡状態を保つと壁面からの放出ガスによって指示圧力が平衡圧力からずれてくるので、較正前には静的室の排気を行う必要があり、この時だけ短時間リーク検出機能が中断される。

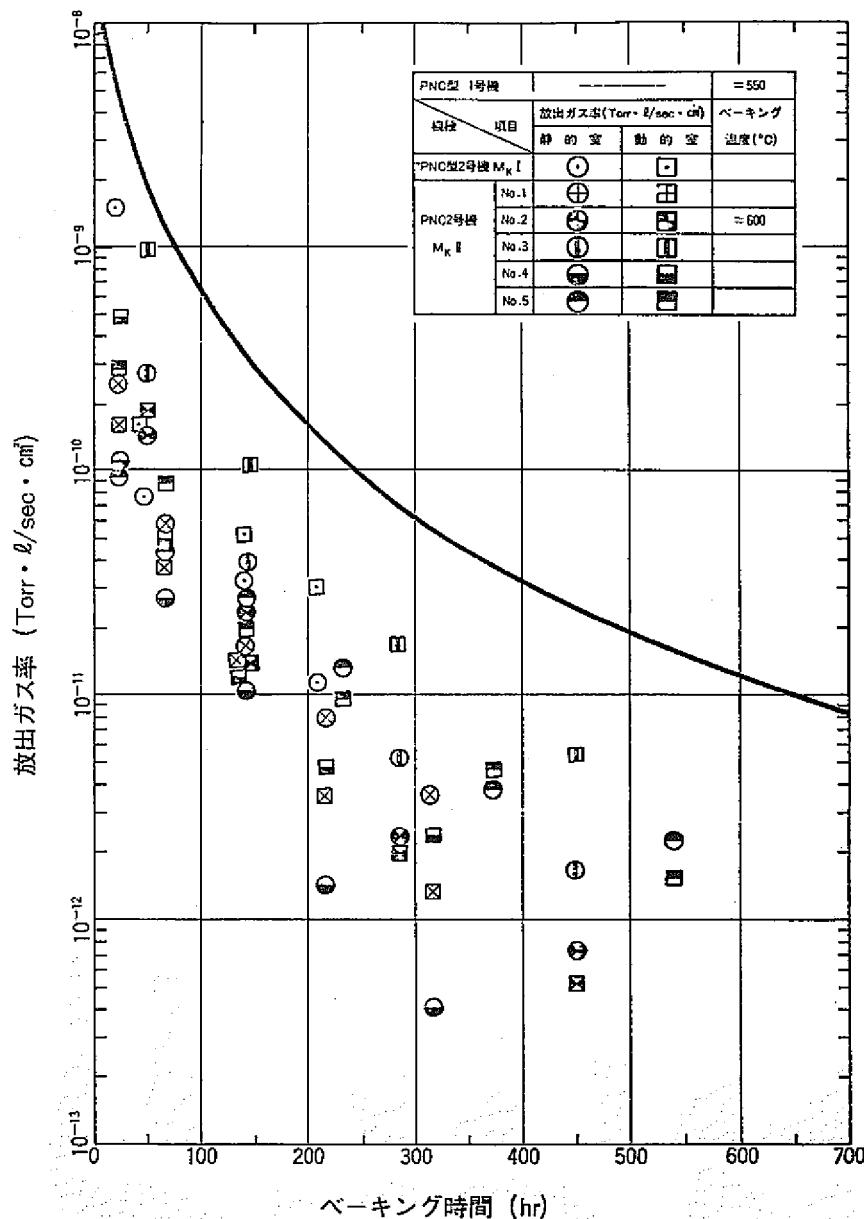
このような分離型構成を採用したことによるもう一つの利点は、静的平衡測定室が独立なので構造上の制約が少なくなり、内容積、表面積を小さくすることが出来、その結果、較正時間が短縮され、較正精度が向上した点にある。



(5) ベーキング結果

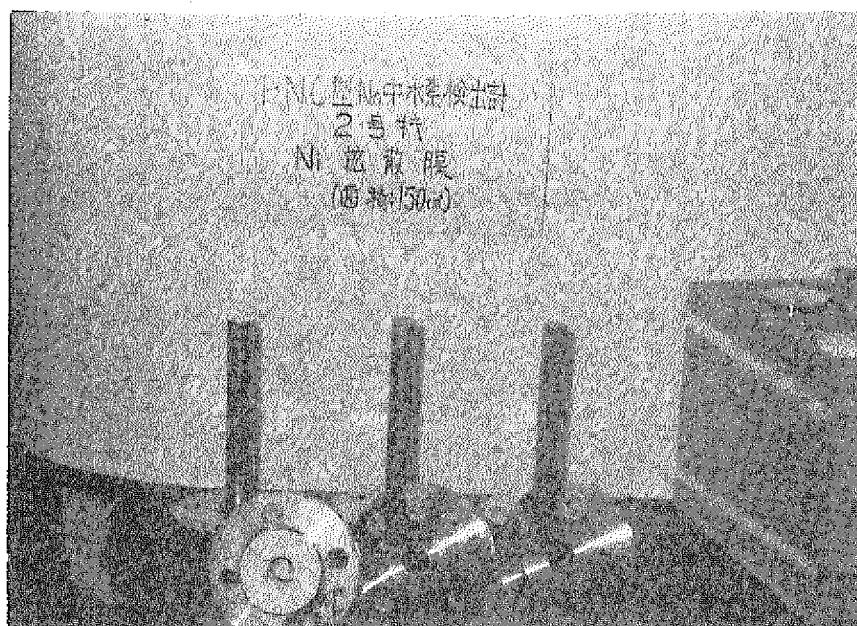
精度の良い較正を行うには、真空室の表面積を小さくすることと、その表面からのガス放出量を小さくすることが重要であるが、PNC型水素計では表面からのガス放出率を 1×10^{-11} Torr · l/sec · cm² 以下におさえることを目標に内表面のベーキング処理を行っている。

このスライドは、ベーキング処理によるガス放出率測定結果を示したもので、横軸にベーキング時間、タテ軸に測定したガス放出率をとっている。1号機の場合はベーク温度 550°C で目標値の 10^{-11} まで約 700 時間を要したが、2号機ではベーク温度を 600°C に上げることにより、同時製作の 6 台でばらつきはあるが、長くても 350 時間で目標値まで下がることが出来た。



(6) Ni 膜写真

この写真が使用した Ni 膜である。外径 25mm, 肉厚 0.5mm, 長さ 30cm, 表面積は 150 cm² である。この中に Na のディストリビュータ管が挿入され、Na 側とはフランジで接続される。



(7) 2号機特徴のまとめ

これまで説明してきた2号機の特徴をまとめるとこの表に示すように、

- I. 静的室と動的室を分離したこと。
- II. 各々の室に同形状のNi膜を使用していること。
- III. 両室をフレキシブルチューブで連結して、バルブの切換えにより動的室のイオンポンプによって、静的室の排気をも可能とした。
- IV. シュルッゲージは300°C程度までの使用経験を有するものを使用しているが、500°CのNi膜の輻射による昇温を防止するため、熱しやへい構造を考慮した。（この詳細構造説明図は割愛する）
- V. 静的、動的室を左右に分けることにより、系統内Naのドレンが可能となった。
なお、この改良型の主な仕様は予稿集の表にまとめてある。

構造特徴まとめ

- I. 静的・動的室の分離
- II. 両室に同形状のNi膜内蔵
- III. 両室をフレキシブルチューブで連結
- IV. シュルツゲージの熱しやへい構造
- V. Naドレン可能

(8) この図は検出計の運転モードを示したものである。

運転モードとしては、両室を隔離した状態で運転するモードAと両室を連結して運転するモードBに大きく分けられる。

運転モードAは動的平衡と静的平衡を同時に測定出来るので、リーク検出のための通常運転や較正運転の時に使用する。

モードBは静的室の排気を行う場合の運転方法であるが、排気初期のトランジエント時を除けば通常の動的平衡運転と同じように利用出来る。

この図ではモードCも示したが、これはイオンポンプを2台使用した時のもう1台の小さいイオンポンプを用いた運転モードで、原理的にはモードAと同じである。

これらのモードを連続的に行った場合のイオンポンプおよびシュルツゲージの指示値を模式的に示したのがその下の図である。

モードAの運転の場合はシュルツゲージは静的平均値を、イオンポンプは動的平衡値で一定している。長時間この運転モードを続けると静的室壁面からのガス放出により静的室内の圧力がNa中の水素濃度に平衡する値からずれて来る。そのため較正運転を行う時は静的室内の放出ガスを排気する必要がある。

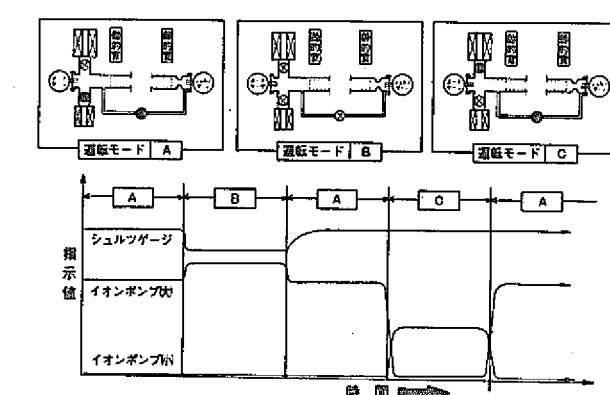
両室を連結したモードBに変えるとシュルツゲージの指示値は排気により低下し、一方イオンポンプの電流値は膜面積の増大に応じた値まで上昇する。この状態で動的平衡になるので水素計として使用出来る訳である。

再びモードAの運転状態にすると静的室の圧力はNa中水素濃度と平衡する圧まで上昇するので、これから動的平衡の指示値を較正することが出来る。

次にイオンポンプを「大」から「小」に変えるとモードCとなり、この時は静的室は隔離されたままであるから圧力は変わらない。

2号機の特性をつかむための較正試験はこの3つのモードに対し実施した。

次にその測定例を示す。

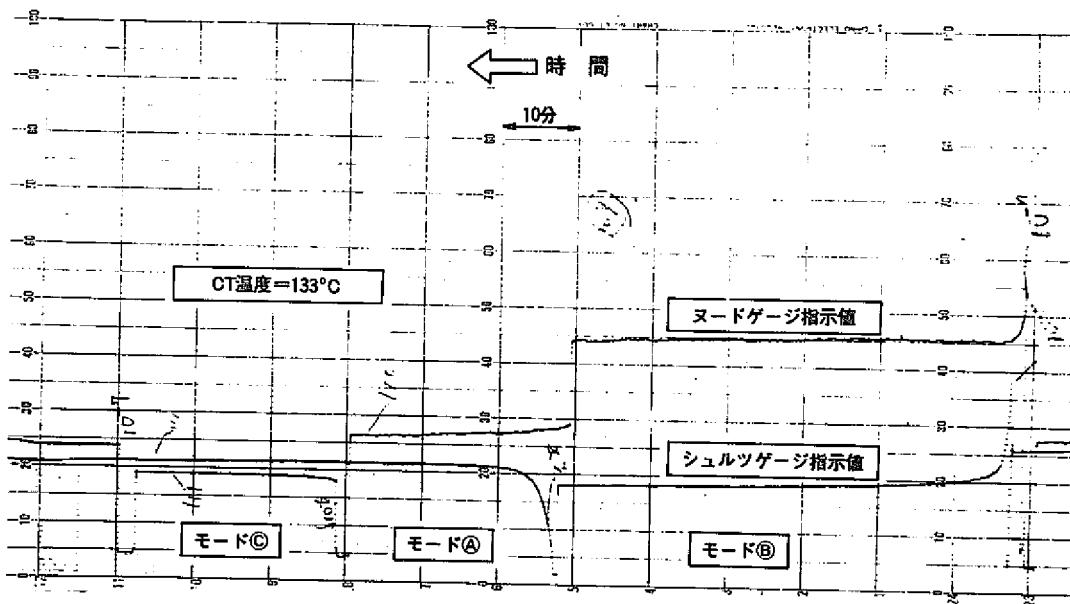


(9) 測定例

この表は較正試験時の測定チャートである。時間軸は右から左へと流れているが、右側下のシュルッゲージ指示値が静的室の圧力その上のヌードゲージ指示値が動的室の圧力（この場合はイオンポンプの指示と同等）を示している。

運転モードBからモードAへ変換すると、前者が静的平衡に近づき、後者はすぐに動的平衡値を示す。この場合はコールドトラップ温度が133°Cであるが、10分以内に静的平衡に達していることが判る。1号機に比べて時間が約1/3に短縮しているが、このことは静的容積を縮小した効果が大きくなっていることを示している。

このようにして求めた較正曲線を次に示す。



(10) 較正曲線

このスライドは各運転モードに対応した水素計の較正曲線を示したものである。

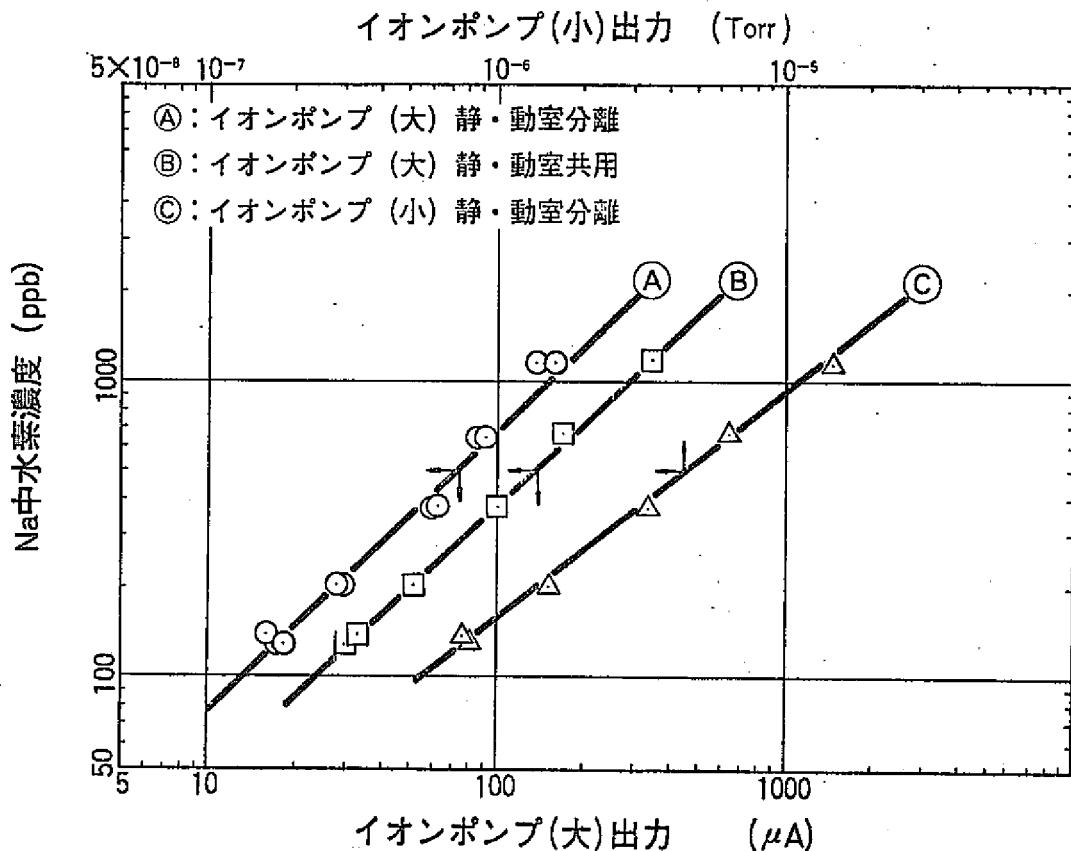
横軸にイオンポンプの指示値——指示の方法がイオンポンプにより μA と Torr と異っている——を示し、タテ軸にシュルツゲージから求まる Na 中の水素分圧を Vissers の式で Na 中水素濃度に直したものと示した。

サーマル・トランスピレーションおよびゲージの自己排気については補正がなされている。

A が前項の運転モード A すなわち静、動室を分離した状態のイオンポンプ「大」の較正曲線で、B は両室を連結した運転モード B に於けるイオンポンプ「大」の較正曲線である。C は両室を分離した状態でのイオンポンプ「小」の較正曲線、すなわち運転モード C で得られたものである。

この図から、A B C のいずれの運転モードでも使用可能であることが判る。

なお、リーク検出計としての応答特性は 1 号機とほぼ同じで、主流分岐点からの Na の輸送おくれ時間が 9 秒、拡散膜以降のおくれ時間が 10 秒、合計で 20 秒以内に主流の濃度変化を検出している。



(1) まとめ

以上P NC型のNa中水素検出計の改良型について報告したが、まとめると

- I. 静腹室と動的室が分離した改良型も製作し、その特性を確認した。また製作時のベーキングの条件などについて新しいデータを得ることが出来た。
- II, III. 従来型と比較し、較正運転においてすぐれており、また応答性などのリーク検出機能に関しては同程度の性能を有することを、Na中較正試験や微小リーク時の応答試験により確認した。
- IV. これらによりすでに報告した最適設計法の妥当性を実証した。
- V. 今後は同時に製作した5台の2号機を動燃の各種ループに据付けて目標時間1万時間の長時期性能試験を実施する計画である。

結 言

- I. 分離型特性確認
- II. 従来型との比較確認
- III. Na中較正試験、微少リーク時応答試験による実証
- IV. 既報最適設計法の実証
- V. 今後：長期性能試験（目標1万時間、5基使用）

付 錄

本項には、本書で記載した各章に対応
する原子力学会発表前刷を学会刷集より
転載し参考とする。

- 付録-I：日本原子力学会 50年分科会前刷集D-41 抜粋
- 付録-II：日本原子力学会 51年分科会前刷集C-48 抜粋
- 付録-III：日本原子力学会 52年年会前刷集 F-43 抜粋
- 付録-IV：日本原子力学会 52年年会前刷集 F-44 抜粋
- 付録-V：日本原子力学会 52年分科会前刷集E-21 抜粋

付録 I

D41

小リーグ・ナトリウム-水反応試験(第14報)
Na中水素計の静的平衡法による較正試験

動 燃

鐘ヶ江道道[○]池本一郎、橋口功、
大内義弘、井上設生、堀雅夫

1. 緒言

SWAT-2装置でこれまで開発研究を行なって来たNa中水素計(PNC-MAPI型)についてはこれまで報告したとおりであるが、今回新たにVARIAN型を設置し、Na中水素濃度の静的平衡法による測定から動的平衡法の較正を行ない検討した。

2. 装置

VARIAN型水素計は図1に示されるように、Ni拡散膜、ヌード型電離真空計、隔壁弁、イオンポンプとそれを結ぶ特別な内面処理を施した配管とからなり、非常にコンパクトな構造となっている。各構成機器の主な仕様は、Ni拡散膜面積: 10 cm², 同厚さ: 0.25 mm, 電離真空計測定レンジ: 10⁻⁶ ~ 1 torr, イオンポンプ排気速度: ~ 1 l/sec (N₂ eq), 配管内径: 15 mm である。

3. 試験内容

ゴールド・トラップ温度を一定にしてNaを循環させ、ループ内Na中水素濃度が一定になったと思われる時点で、隔壁弁を開いてイオンポンプを隔離する。電離真空計の指示はNa中水素濃度(C)に対する分圧(P_B)まで上昇して一定となる。一般に、両者の関係はシーベルトの法則により次式で計算される(K: シーベルト定数, ppm·torr^{-1/2})

$$C = K \cdot P_{B}^{1/2} \quad (1)$$

この平衡圧測定前後の隔壁弁を開いた状態でのイオンポンプ電流(I_P)、あるいはこの時のPNC-MAPI型水素計の圧力指示値(P_B)が求められたNa中水素濃度に対応すると考え、I_P, P_BとCの関係(動的平衡法)の較正曲線が求められる。この関係を図2に示す。

真空計の排気コンダクタンスの影響は無視できるため、Cとイオンポンプ部圧力P_G(\propto I_P or P_B)の関係は、Ni拡散膜内の水素の拡散のみならず、Ni拡散膜表面での水素分子(あるいは原子)の吸脱着によって定まり、一般に $C \propto P_G^{0.7 \sim 0.75}$ の関係がある。本実験結果からは $C \propto P_G^{0.7 \sim 0.75}$ の関係が得られ、これはSCTIおよび私の報告と一致する。

上記較正曲線をもとに、各
WAT-2注水実験時の応答
を調べた。

参考文献

- 1) 47年 炉工分科会 C-29
- 2) 48年 年 会 E-20
- 3) 49年 年 会 E-21
- 4) J.M. McKee & IAEA Bensberg
- 5) E.LAMBILLARD Meeting Report (1974)

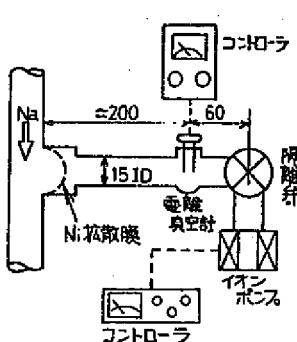
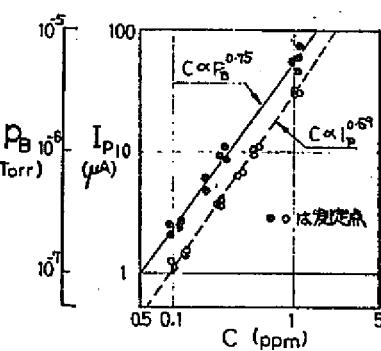


図-1 構造概略 (mm)

図-2 C と I_P, P_B の関係

付 錄 II

C 48

小リーグ・ナトリウム-水蒸応試験研究(第18報)
—Ni膜-イオンポンプ型水蒸計の性能評価に関する考察—

創 燃

（鎌ヶ江直道、池本一郎、橋口功 岡東）

Ni膜ヒドロゲンポンプと組合せてNa中水蒸濃度を測定する方式は、蒸発発生器に並行する水リーグの検出方法として構造が簡単で性能が良いため最も有望視されている。本報告は、この水蒸計に対する最も一般化した設計・性能評価法についてWAT-2装置等を用いての開発試験から得られた検討結果を示すものである。

$\text{Na中水蒸濃度 } C_{\text{NH}} (\text{ppb})$ と $\text{Na中水蒸分压 } P_{\text{NH}} (\text{mmHg})$ は Inverst's の法則の関係付けられ(図-1 中 $C_{\text{NH}} - P_{\text{NH}}$ 曲線)、水蒸気運動時すなわち動的平衡運動時には P_{NH} とイオンポンプ部圧力 P_{IP} (mmHg) との間に式(1)の関係が成立する(真空側ジッパ等無視)。

$$P_{\text{NH}}^{\frac{1}{2}} = \frac{d}{K} \cdot \frac{s}{A} \cdot P_{\text{IP}} \quad (1)$$

ここで $d (\text{cm})$: Ni膜厚, $K (\text{cm}^2 \cdot \text{mmHg}^{\frac{1}{2}}/\text{sec})$: 水蒸の Ni膜透過率, $s (\text{cm}^2/\text{sec})$: ポンプ部排气速度, $A (\text{cm}^2)$: Ni膜面積であるが、式より K が既知であれば P_{NH} と P_{IP} とは $\frac{s}{A}$ をパラメータとして図-1中の $P_{\text{NH}} - P_{\text{IP}}$ 曲線で示される。一方、使用イオンポンプ部排气速度とポンプ部排气速度との関係は、I.P.B.G.曲線およびW.B.G.曲線として表わされる。これ等各曲線を図示したものと検出特性図を併記し、リーグ検出計の性能評価は水リーグによる C_{NH} の変化にともなう P_{IP} の変化値とバックグランド値の比(ppb)を同図使用により知ることが可能である。

また、水蒸計較正用運動として行われる静的平衡運動からは真空壁面からの放熱が人による較正精度の低下を最小におさえるための構造が要求される。真空壁単位面積あたりの放熱が $q^* (\text{cm}^2 \cdot \text{mcal}/\text{sec} \cdot \text{cm}^2)$, Ni膜面積 A , 厚さ d の比 $\frac{q^*}{d}$ が判れば、その測定誤差を何%におさえたいかによって許容される真空壁全表面積 $A_p (\text{cm}^2)$ が判る。図-2は誤差を5%におさえるに必要な A/d と A_p の関係を $\frac{q^*}{d}$ をパラメータとして図示した($\frac{q^*}{d} - A_p$ 直線)もので、同時に必要測定時間の関係も示した($\frac{q^*}{d} - t$ 直線)。同図を静的平衡測定特性図と呼ぶ。これら特性図の使用により、全てのNi膜-イオンポンプ型水蒸計の設計・性能評価が可能である。

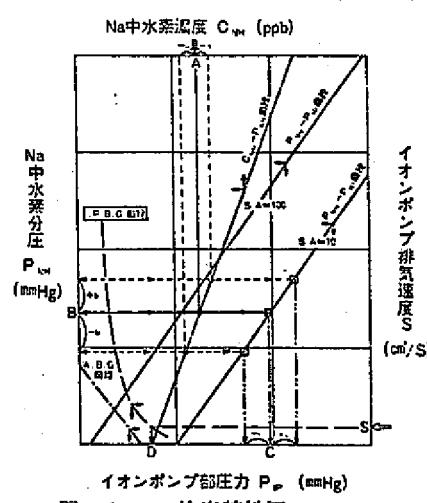


図-1 検出特性図

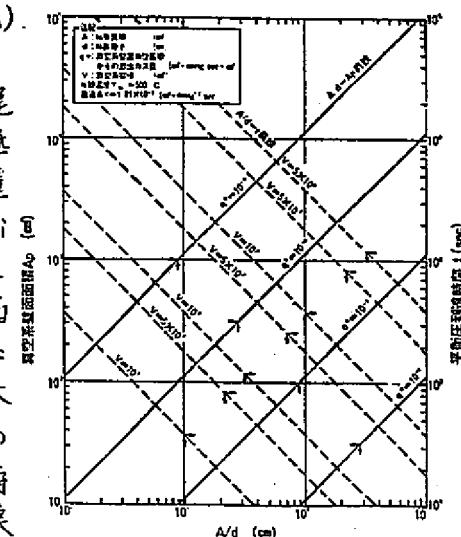


図-2 静的平衡測定特性図

付 錄 III

F43

PNC型Na中水素検出計の概要
—小リーグ・ナトリウム・水反応試験研究 第19報—

動 燃 ° 鎌ヶ江直道, 池本一郎, 堀 雅夫

1. 緒言 本報告は、前第18報に報告したNi膜-イオンポンプ型水素検出計の設計評価法を基に、設計、製作した「PNC型Na中水素検出計」の詳細を報告するものであり、その特徴、設計法の評価等に関する記述である。

2. 設計基本方針 (1) 実プラント(もんじゅプラント)に組込み、リーグ検出計としての機能をはたすこと。(2) SWAT-2および50MWSGT-Fに組込み、リーグ検出計としての機能および水素挙動追跡のための濃度測定機器としての機能を有すること。(3) 本検出計(系)はNa側も含め小型化をはかること。

3. 構造 図-1はNa側も含めた系統図を、また表-1に主仕様を示す。本検出系の構造上の特徴は以下のとおりである。(1) 上記2項の(1)(2)の要求からその測定範囲を広く取るために2台の排気速度(S)の異なるイオンポンプを設置しS/A値を10および100近傍に取った。(2) 同様の要求から使用シリルツゲージの測定上限を3 Torrまでのものを設置した。(3) Ni膜には3本の内圧円筒型のものを用い製作上きわめて容易な構造とした。(4) Na側は上記2項の(3)を考慮し、主ヒータ内蔵エコノマイザ部は外径34mm, 全長約2m. ときわめて小型にした。(4) Na系と真空系は交換可能なようにフランジ取合構造とした。

4. 評価 次報に記載した各種試験を行い、次の評価を得た。

(A) 本検出計の設計思想、設計法(*1)で報告した各種特性図の使用の妥当性が確認された。

(B) 設計仕様として当初定量的に不明確であった項目に対する実験的確認が出来、さらに測定精度の向上も可能であることを確認した。

リ 51年 炉工分科会 (I) C-48

測定範囲(ppb)	45 ~ 10 ⁴	拡散部温度°C	500
測定感度	上記値の±10%ステップ変化に対し検出可能。	Na 流量(l/MIN)	2.5
ナトリウム系		設計圧力(Torr/deg)	10
材質	Ni(Nickel 201)	設計温度(°C)	520
形状	内圧円筒片持型	内容積 V(cc)	976
拡散膜	厚さ d(cm)	内表面積 Ap(cm ²)	1012
形狀	0.05	壁面放出ガス (Torr·cm ² /S·cm)	1×10 ⁻⁹
面積 A(cm ²)	200	形式	スパッタイオンポンプ
真空計		排気漏度 S (cm ³ /sec)	2.7×10 ⁻³ [25.8×10 ⁻³]
形式	超高真空電離真空計 シュルッゲージ		
測定範囲(Torr)	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻³		
オシロ			
スコープ			

表-1 主 仕 様

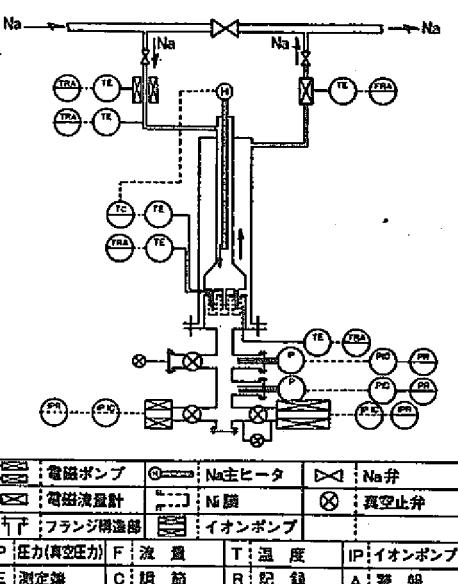


図-1 PNC型Na中水素検出計系統図

付録 IV

F44

PNC型Na中水素検出計試験結果
— 小リーケ・トリウム・水反応試験研究 第20報 —

動 態

池本一郎、大後美道、次内義弘、井上毅生
鶴ヶ江直道、堀 雅夫

1. まえがき PNC型水素検出計(本第19報参照)のガス中試験、ガス放出率測定試験およびNa中試験により、本水素計の特性、とくにNi膜水素透過率、真空系壁面からのガス放出量、電離真空計フーラメントの排気速度および校正曲線、応答特性が調べられた。本報では、主としてガス中試験結果およびガス放出率測定試験とともに、本水素計の特性および校正曲線について報告する。

2. 試験方法 ガス中試験は、Ar-H₂混合ガスの水素濃度および圧力を変えることにより、水素分圧 P_{NH} を 8×10^{-5} ~ 8 torr の範囲、拡散膜温度は 500, 400, 300 °C で行なった。動的平衡状態における水素計の運動特性は(1)式で表わされる。(1)式より拡散膜の水素透過率 K (torr % · cm²/sec) が求められ、校正曲線が評価される。一方、静的平衡試験における真空側の圧力上昇は、シルツゲージの排気速度 S_F (cm³/sec) および真空系壁面からのガス放出を考慮すると(2)式で与えられる。静的平衡状態における(2)式の左辺はゼロとなり、ゲージの排気速度 S_F が求められる。

$$P_{NH} = \frac{d \cdot S}{K \cdot A} P_{IP} + \left(1 + \frac{S}{C}\right) K \cdot P_{IP} \quad (1) \quad V \frac{dP}{dt} = \frac{K \cdot A}{d} (P_{IP} - P_S) - S_F \cdot P + Q^* \quad (2)$$

ここに、 P_{IP} : イオンポンプ部圧力(torr), C : 真空系排気エンタクタンス(cm³/sec), P : 真空系圧力(torr), Q^* : ガス放出量(torr · sec¹/sec)。
他の記号は本第19報に同じ。

3. 試験結果 ガス中試験によつて得られた校正曲線を図1、ガス中水素分圧と静的平衡圧の関係を図2に示す。図1より、真空系ペークアウト時間が短かいため、真空系壁面からのガス放出により進圧部で直線性が失なわれるところ、図2より静的平衡圧測定における低圧側ではガス放出の効果により実際より高い平衡圧を、高压側ではゲージの排気効果(排気速度 ~ 1 cm³/sec)のために、実際より低い平衡圧が測定されることが判った。一方、ガス放出率測定試験より、真空系を 550 °C × 600 時間でペークアウトすることにより、本第19報の仕様である拡散膜温度 500 °C において、 1×10^{-5} torr · cm²/sec · cm² の真空系壁面からのガス放出率が得られた。

4. まとめ 本試験により、これまで未知であった拡散膜型Na中水素計の特性が定量的に求められ、今後の水素計の設計、評価にフィードバックされる。

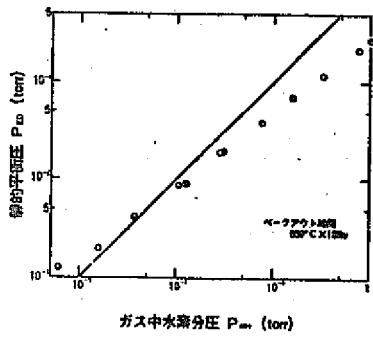
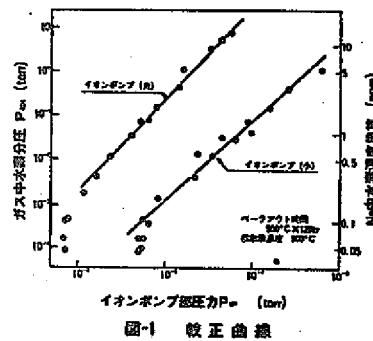


図-2 ガス中水素分圧と静的平衡圧の関係

付録 V

E 21

PNC型 Na中水素検出計(静的、動的室分離型)
— 小リーフ・トリウム-水反応試験研究第21報 —

動燃

鎌ヶ江直道 大後美道 池本一郎 井上謙生
○朝 雅夫

1. 緒言 本報告は、これまで動燃で確認した^{1,2,3)}設計法、試験結果を反映し、原型炉もんじゅ用に設計、試作した首題検出計の構造、性能の特性、試験結果について述べる。

2. 設計目標および構造 本検出計は較正運転の手法、精度の向上を主目的として試作したもので、これまでのものが較正運転時に静的平衡運転に切換える必要から、その期間には検出計としてこの機能を停止せねばならないという弊外を無くすために、構造上次の諸特性を持たせた。①静的・動的平衡運転専用の測定室(真空部)を独立に設けた。②両者には同一Ni膜を設置し、更に両室を止弁を介して連結し、静的室の排気も可能とした。③静的室の内容積、表面積およびベーカー処理を表-1のようにして較正精度を向上させた。

その他の特徴および製作時に得られた成果として、④500°Cにおける放出ガス率 9×10^{-2} Torr^{1/2}/sec/cm²の条件を、600°C, 350時間のベーカー処理で達成した。⑤静的室のシリカゲージに対する膜からの輻射熱による影響を防止するための構造上の考慮を払った。⑥Naはドレン可能構造とした。⑦測定濃度に合わせて2台のイオンポンプの使用、内圧円筒形特型Ni膜の使用、3 torrまでの測定可能なシリカゲージの使用およびヒータ内蔵エコノマイザの使用等は、前回試作のものとの実績を基に同じ仕様を採用した。

3. 試験結果および評価 動燃SWAT-2によるNa中較正試験および注水時応答試験の結果、⑧静的室、動的室を完全に隔離した状態で、すなわち真空系の操作を一切行わずに較正曲線を得ることが出来た。⑨両室を連結し、静的室の排気を行った後に静的平衡運転に切換えて測定した場合(従来の較正運転法と同一方法)、静的平衡圧測定値は上記⑧で求めた値との再現性が良い

表-1 主仕様

測定範囲 (ppb)	45~15×10 ³ 以上 (実機用)		設計温度 (°C)	520
	測定精度	±10%変化		
材質	N201相当		ナトリウム圧力 (kg/cm ²)	10
形状	内圧円筒片持型		Na液温(°C/MIN)	3.2(定格)
イオンポンプ	スピアタイプ シンボン		Na入口温度 (°C)	200
熱流束用 抵抗温度用 (A/sec)	23.0		較正温度 (°C)	500
計	抵抗温度用 (A/sec)	2.4	Na出口温度 (°C)	230(実機)
			入口から排気までの時間 (sec)	8.5

手も確認した。⑩注水時応答特性評価を微小リード試験時に行い、前回試作のものと同様の応答があることを確認した。⑪本静的、動的室分離型検出計は上記評価を基に、長期間連結運転による性能特性評価および経年変化の把握を行う計画である。

1) 本会、51年分科会 C-48
2) 本会、52年年会 F-43
3) 本会、53年年会 F-44

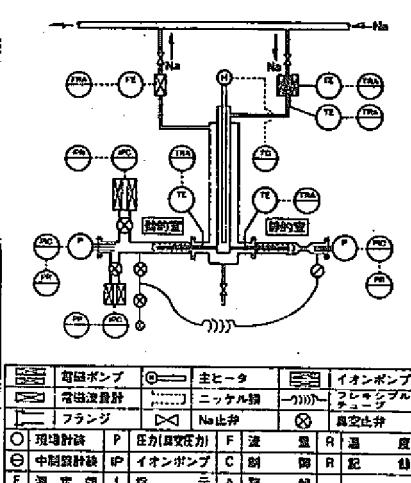


図-1 系統図

付 錄 V

E 21

PNC型 Na中水素検出計(静的、動的室分離型)
— 小4-7・ナトリウム-水反応試験研究第21報 —

動 燃

館ヶ江直道 大後美道 池本一郎 井上誕生
○堀 雅夫

1. 緒言 本報告は、これまで動燃で確認した^{1,2,3}設計法、試験結果を反映し、原型炉もんじゅ用に設計、試作した首題検出計の構造、性能の特性、試験結果について述べる。

2. 設計目標および構造 本検出計は較正運転の手法、精度の向上を主目的として試作したもので、これまでのものが較正運転時に静的平衡運転に切换える必要から、その期間は検出計としての機能を停止せねばならないと云う弊外を無くすために、構造上次の諸特性を持たせた。①静的・動的平衡運転専用の測定室(真空部)を独立に設けた。②両者には同一Ni膜を設置し、更に両室を止弁を介して連結し、静的室の排気も可能とした。③静的室の内容積、表面積およびピーク処理を表-1のように較正精度を向上させた。

その他の特徴および製作時に得られた成果として、④500°Cにおける放出ガス率 9×10^{-2} Torr²/sec.cm² の条件を、600°C, 350時間のベーク処理で達成した。⑤静的室のシリツゲージに対し膜からの輻射熱による影響を防止するための構造上の考慮を払った。⑥Naはドレン可能構造とした。⑦測定精度に合わせて2台のイオンポンプの使用、内圧円筒片特型Ni膜の使用、3 torr子²測定可能なシリツゲージの使用およびヒータ内蔵エューマイガの使用等は、前回試作のものの実績を基に同じ仕様を採用した。

3. 試験結果および評価 動燃SWAT-2によるNa中較正試験および注水時応答試験の結果、④静的室、動的室を完全に隔離した状態で、すなわち真空系の操作を一切行わずに較正曲線を得ることが出来た。⑤両室を連結し、静的室の排気を行、た後に静的平衡運転に切换えて測定した場合(従来の較正運転法と同一方法)、静的平衡圧測定値は上記④で求めた値との再現性が良い。

表-1 主 仕 様

測定範囲 (ppb)	45~150×10 ⁻² 以上 (実積法)		設計温度 (°C)	520
	測定精度	±10%変化		
材 質	N2O1相当		Na流量 (A/MIN)	3.2(定格)
形 状	内圧円筒片持 皿		Na入口温度 (°C)	200
イ オン ポン プ	スパッタイオ ンポンプ		校正温度 (°C)	500
高圧用 低圧用 度	高圧用 (E/sec)	23.0	Na出口温度 (°C)	230 (実積法)
	低圧用 (E/sec)	2.4	入口から断 での距離 (mm)	8.6

等を確認した。⑥注水時応答特性評価を微小リード試験時に用い、前回試作のものと同様の応答があることを確認した。⑦本静的、動的室分離型検出計は上記評価を基に、長期間連結運転による性能特性評価および経年変化の把握を行う計画である。

1) 本会、51年分科会 C-48
2) 本会、52年年会 F-43
3) 本会、53年年会 F-44

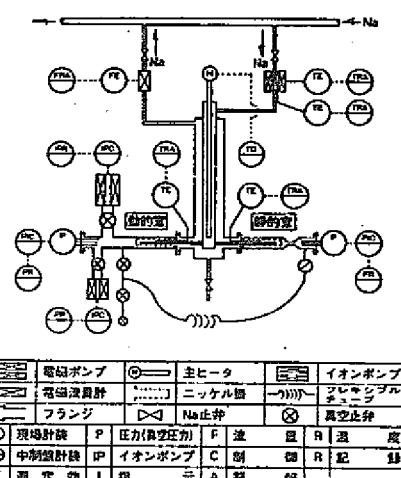


図-1 系統図