

地層処分に関する模擬地下水の γ 線照射試験

1992年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

地層処分に関する模擬地下水の γ 線照射試験

飛田 祐夫* 岡崎 充宏** 榊原 守夫**
谷本 健一* 榎戸 裕二*

要 旨

高レベル廃棄物の地層処分の計画において、廃棄物近傍のニアフィールドにおける放射線の影響を評価する必要がある。地層処分時における地下水の照射下における性状の基礎データを取得するために、地下水の性状を模擬した人工海水を使用して、「常陽」使用済燃料プールを照射場として利用し、 γ 線照射によって地下水の性状がどのように変化するかを確認した。同等のサンプルを「常陽」使用済燃料プールの放射線の影響が無い場所にも設置し、照射以外の変化についても確認しリファレンスとした。また、照射後の経時変化の有無を確認するため、一定時間毎の性状の変化を調べた。照射条件は、24時間（1日） $1.0 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^3 \text{ Gy}$ ～1440時間（60日） $4.4 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^4 \text{ Gy}$ で行った。試験結果は以下の通りである。

- (1) 照射前後のpH、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度の変化は見られなかった。
- (2) 照射前のEhは241mVであったが、1440時間（60日）の照射後では、156mVと減り、吸収線量が増えるとEhは低下する傾向がある。
- (3) 照射前のDoは、 $20.76 \mu\text{g}/\ell$ であったが、1440時間（60日）の照射後では、 $5930 \mu\text{g}/\ell$ と増え吸収線量が増えるとDoは上昇する傾向がある。
- (4) 480時間（20日）の照射前に2.9ppmの硝酸イオンが検出され、照射後にも105ppmの硝酸イオンが検出された。また、480時間（20日）の未照射前にも硝酸イオンが4.0ppm、未照射後に5.9ppm検出された。1440時間（60日）の照射後に15ppmと未照射後に11ppmの硝酸イオンが検出された。
- (5) 照射後一定時間内（約4時間後測定）のpH、Eh、Do、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度の変化は見られなかった。

これらの結果から γ 線により水の放射線分解から生じる酸素がDoを上昇させ、また、水素、水酸基がEhを低下させたと思われる。硝酸イオンが検出されたことは、保管中の人工海水に空気中の窒素が溶け込み水の分解生成物と反応したことによると思われる。

* 管理部環境技術課

** 検査開発株式会社

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)

The gamma irradiation experiment of simulated groundwater related the geologic disposal of high level waste

Hiroo Tobita* , Mitsuhiro Okazaki**, Morio Sakakibara**
Kenichi Tanimoto*, Yuji Enokido*

Abstract

The plan of the geologic disposal of high level waste that need to do estimate the effect of radiation in near field surrounding waste. We have applied "JOYO" spent fuel storage pool as irradiation field and investigated the effect of gamma radiation about quality of groundwater, because we have too obtained a basic data related geologic dispose under irradiation condition. The experiment was applied artificial brine for simulated groundwater. The same samples were located in "JOYO" spent fuel storage pool without gamma radiation and other effects were estimated. The samples were also observed the variation of quality of artificial brine every fixed time after irradiation and were estimated the effect as the function of time. gamma irradiation were carried out from 24 hours ($1.0 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^3$ Gy) to 1440 hours ($4.4 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^4$ Gy). The results indicate the following.

- (1) The change of pH, conductivity and ion concentrations in artificial brine could not be observed in the samples before and after irradiation.
- (2) Eh of the samples was 241mV before irradiation, but it decreased 156mV after irradiation for 1440 hours. Eh tend to decrease by increase of the absorption dose.
- (3) Do of the samples before and after irradiation for 1440 hours were 20.76 and 5930 $\mu\text{g}/\ell$, respectively. Do tend to increase by increase of the absorption dose.
- (4) Before and after irradiation test for 480 hours, nitric ion was detected 2.9 and 105ppm, respectively, In no gamma irradiation test, nitric ion was detected 4.0 and 5.6ppm, respectively. For 1440 hours, nitric ion was detected 15ppm after irradiation and 11ppm after rest without gamma irradiation.
- (5) pH, Eh, Do, conductivity and all ion concentrations in artificial brine have no the variation as the function of time within fixed time (about 4 hours) after irradiation.

These results suggest that oxygen which were generated by the gamma radiolysis of water was increased Do, and hydrogen and hydroxyl were decreased Eh, Nitric ion was detected in the samples. This suggest that nitrogen which is dissolved in the artificial brine for storage period, reaction with radiolytic products.

* Administration Division, Waste Management Section
** Inspection Development company Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 照射試験	2
2.1 試験装置	2
2.2 試験方法	2
2.2.1 線量測定	3
2.2.2 ブランク試験	3
2.2.3 γ 線照射試験	4
3. 試験結果	6
3.1 線量測定	6
3.2 ブランク試験	6
3.3 照射試験	6
4. 考 察	9
5. 結 言	11
6. 謝 辞	12
7. 参考文献	13
図 表	14
付 録	56

図 表 目 次

表 2-1	測定機器	14
表 2-2	人工海水のイオン濃度に対する分析範囲	15
表 2-3	分析時間及び条件	15
表 2-4	人工海水の組成	16
表 2-5	ブランク試験条件	17
表 3-1	照射試験で使用するラックの最高線量等量率測定結果	18
表 3-2	照射条件	18
図 1-1	pHとEhとの核種の化学形態との関係	19
図 1-2	地下水でのpHと核種の溶解度との関係	20
図 2-1	ガス置換型グローブボックス概要	21
図 2-2	ガス置換型グローブボックス	23
図 2-3	石英製三角フラスコ	25
図 2-4	石英製三角フラスコ及び化学線量計	27
図 2-5	照射試験用容器	29
図 2-6	照射試験用容器に入れた三角フラスコ	31
図 2-7	照射試験の概要	33
図 2-8	照射試験用容器をラックに入れた状態	35
図 2-9	水中モニタの外観	37
図 2-10	照射試験フロー図	38
図 2-11	照射試験詳細フロー図	39
図 3-1	D _o の脱気時間に対するpH、Eh、導電率の関係	40
図 3-2	D _o の脱気時間に対するpH、Eh、導電率の関係	41
図 3-3	脱気時間とD _o の経時変化の関係	42
図 3-4	脱気時間とD _o の経時変化の関係	43
図 3-5	吸収線量とEhの関係	44
図 3-6	吸収線量とD _o の関係	45
図 3-7	吸収線量と導電率の関係	46
図 3-8	吸収線量とpHの関係	47
図 3-9	吸収線量とイオン濃度の関係	48
図 3-10	吸収線量と硝酸イオン濃度の関係	49
図 3-11	経過時間とEhの関係	50
図 3-12	経過時間とD _o の関係	51

図 3 - 13	経過時間と導電率の関係	52
図 3 - 14	経過時間と pH の関係	53
図 3 - 15	経過時間とイオン濃度の関係	54
図 3 - 16	経過時間と硝酸イオン濃度の関係	55

1. 緒 言

高レベル廃棄物の地層処分の計画において廃棄物近傍のニアフィールドにおける放射線の影響として、放射線がガラス固化表面近傍の水を放射線分解して、過酸化水素、水素等が生成され、ガラス固化体の腐食の原因が予測されている。

この原因把握のためには、放射線による水等の分解の影響並びに生成される放射性核種の化学形態の同定及びその挙動等の放射線化学・一般化学反応に係わる広範囲の研究が要求される。また、地下水の性状や吸収線量について、地層処分場の環境・経時変化・地下水流動等の諸因子にも関連するため、データの取得において、より測定データを高めた試験が必要であると考えている。諸外国では、化学計算コードを使用したpHとEh及び各種イオンの溶解度などの研究が行われている。図1-1は、各Eh-pH条件下でのプルトニウムの化学種と溶解度を計算予測した例であり、ウランや核種の溶解度は地下水の化学的雰囲気(pH、Eh)によって大きく異なっていることがわかる。また、図1-2は、pH条件下で安定なウラン錯体の存在比率を計算予測した例であり、ウランや核種は地下水中に共存する配位子と錯体を形成し、種々の化学種を形成する事がわかる⁽¹⁾。地下水中での核種の挙動を考える地下水中での核種の溶解度との関係および、両ファクタに影響を及ぼすDo酸化及び還元を引き起こすイオン種と溶解度の評価も重要なファクタと考えられている。

本研究の目的は、高レベル廃棄物の地層処分の性能評価研究の一環として、地層処分時における地下水の γ 線照射による放射線分解の基礎データを取得するため、 γ 線が地下水の性状にどのような影響を及ぼすか調査するにある。

今回は、地下水の一種である人工海水を用いて、「常陽」使用済燃料プールを照射場として、 γ 線照射による、pH、Eh等の変化を確認するため基礎試験を行った。人工海水は、pH、Eh等が安定しているため、試験での取扱いが容易であると。また、深地層中に海水性の地下水が存在している可能性があることから試験に用いた。地下水の性状を模擬した人工海水をガス置換型グローブボックス内で、pH、Eh、Do、導電率を調整し石英製三角フラスコに密封した後「常陽」使用済燃料プールに設置する。照射条件としては、 γ 線を24時間(1日)、 2.4×10^3 Gy、480時間(20日) 4.8×10^4 Gy、1440時間(60日) 1.44×10^5 Gyを基本とした照射を行った。

γ 線照射前後の模擬地下水のpH、Eh、Do、導電率、全ての人工海水中のイオン濃度を吸収線量に対して変化を確認した。また、「常陽」使用済燃料プールの γ 線照射を受けない場所に照射試用容器を設置し、試験装置の健全性の確認を含む未照射を行い、照射したものと比較した。また、三角フラスコを2個使用して化学線量計を取り付け、模擬地下水である人工海水の吸収線量を測定した。照射後、4時間後にpH、Eh、Do、導電率、人工海水の全てのイオン濃度を測定し、経過時間に対するpH、Eh、Do、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度の経時変化を確認した。

2. 照射試験

地層処分時におけるpH、Bh、Do、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度の基礎データを取得するため、 γ 線照射による地下水の性状にどのような影響を及ぼすか調査するために本試験を行った。

2.1 試験装置

- (1) 人工海水の性状を測定する測定機器は、表2-1に示す。pHは（オリオンEA920型）は ± 0.002 pHの精度をもっている。また、Do計（東亜電波Do-30A）はppbオーダーの溶存酸素の測定を $\pm 0.1 \mu\text{g}/\ell$ 以下の精度である。人工海水中のイオン濃度の分析はppbオーダーの精度をもっているイオンクロマト装置（東亜電波ICA-3000）である測定機器を選定した。
- (2) 照射試験で使用した人工海水の組成は、表2-2に示すように11種類のイオン濃度からなっている。人工海水は、東海事業所環境技術開発部地層処分開発室でベントナイト、オーバーパック材などの性能評価研究で使用されているため使用した。
- (3) 人工海水の調整及び測定をするガス置換型グローブボックスは、図2-1に示すようにアルゴンガスを使用する装置である。
測定機器類の本体は、ガス置換型グローブボックス外に設置し、測定電極はガス置換型グローブボックス内で測定した。また、人工海水の脱気も行う。ガス置換グローブボックスを図2-2に示す。
- (4) 人工海水を入れて照射する容器は、図2-3に示すような100ml入りの石英製の三角フラスコを用いた。また、石英製三角フラスコ及び化学線量計を図2-4に示す。
- (5) 石英製三角フラスコを入れて照射する容器は、図2-5に示すような照射試験用容器で、長さは2700mmであり直径は76.3mmの大きさである。石英製三角フラスコが2個収納できるようになっている。石英製三角フラスコを照射試験容器に入れた様子を図2-6に示す。
- (6) 人工海水の照射は、図2-7に示すように「常陽」使用済燃料プールで照射試験を行った。照射試験容器をラックに入れた状態を図2-8に示す。
- (7) 「常陽」使用済燃料ラックの線量測定は、図2-9に示すような水中モニタを使用して「常陽」使用済燃料プール貯蔵ラックの γ 線空間線量を測定を行った。
測定範囲は、表2-1に示す。

2.2 試験方法

照射試験は図2-10にフロー図を示すように、「常陽」使用済燃料プールの貯蔵ラ

ックのγ線空間線量の測定を行った。また、模擬地下水である人工海水を使用して、アルゴンガスによる脱気を行い脱気による性状の変化を調査した。

上記を行った後、照射試験を実施した。

2.2.1 線量測定

「常陽」使用済燃料プールを使用した照射ポイントを決定するため、プール内の線量当量率の測定を実施した。測定したポイントは、燃料・反射体等が4本ずつ納まるラックをひとつの単位とし、その中心部を軸方向に対して測定を行った。測定したラックは、炉内から取り出した日付けが最近の燃料、反射体等が集まっているラック29ヶ所とした。

目標としている吸収線量と照射日数から割り出した線量当量率としては 10^2 Sv/hである。また、選定したラック29ヶ所の軸方向の線量分布及び期待線量当量率の得られるラックを選定した。

2.2.2 ブランク試験

(1) 試験の目的

深地層中の地下水の D_o は、一般に非常に小さいと考えられている。そのため、ガス置換型グローブボックス内でアルゴンガスにより人工海水を脱気して、 D_o は地下水性状に近づける必要がある。試験水は4つの模擬地下水である人工海水を用いて実施した。

(2) 確認項目

- ① D_o に対するEh、pH、導電率の変化を確認した。
- ② 脱気時間に対する D_o の経時変化を確認した。
- ③ 試験水No.2は、人工海水中に直接アルゴンガスを入れるバブリング方式を取り D_o の脱気時間の確認及びバブリングに対するpH、Eh、導電率の影響を確認した。

(3) 試験条件

ブランク試験は表2-5に示すように人工海水である試験水No.1、No.2の水温は 15°C ～ 25°C 、と試験脱気日数を3日間行った。また、試験水No.3、No.4の水温は 23°C ～ 35°C 、として試験脱気日数は2日行った。なお、水温については「常陽」使用済燃料プールと測定室の温度の変化による影響を確認するためである。

(4) 試験方法

- ① 人工海水である試験水を500ml入れて、ガス置換型グローブボックス内に入れる。
- ② ガス置換型グローブボックス内で人工海水である試験水を、アルゴンガスにより脱気する。
- ③ 人工海水である試験水のpH、Eh、 D_o 、導電率、試験水温度、グローブボックス

内温度、グローブボックス内酸素濃度を2時間おきに測定する。

- ④ 人工海水である試験水のpH、Eh、Do、導電率、試験水温度、グローブボックス内温度、グローブボックス内酸素濃度のデータを解析・評価する。

2.2.3 γ 線照射試験

γ 線照射試験は、図2-11に示すように以下の方法で行った。

(1) 人工海水の脱気

石英製三角フラスコ100mlを2個及び照射前の測定に100ml、イオンの分析などを行うので、約500ml必要とするため、人工海水をビーカーに約500ml採取し、ガス置換型グローブボックスを通じて搬入する。また、ブランク試験で得られた結果をもとに、約50時間かけて脱気を行う。

(2) 人工海水を石英製三角フラスコへ注入

ガス置換型グローブボックス内で、脱気した人工海水を石英製の三角フラスコ2個に100mlずつ注入し、平栓及びジョイントクランプで密封する。

(3) 照射前の人工海水のpH、Eh、導電率、イオン濃度の測定

脱気した500mlの人工海水を直接pH、Eh、Doを測定を行うとpH、Eh、Doの電極からの塩化カリウムが溶出し、イオン濃度の測定に影響があるため、脱気した500mlの人工海水を測定前に石英製三角フラスコに入れる。また、残りの人工海水を100mlビーカーに入れ、pH、Eh、Do、導電率を測定する。

イオン濃度の測定は、陰イオン、陽イオンは200倍希釈、炭酸水素イオンは5倍希釈を行う。

希釈方法は、陰イオン、陽イオンでは100mlのメスフラスコを使用し、マイクロピペットに人工海水を500 μ l採取してメスフラスコに入れて、純水により100mlにする。また、炭酸水素イオン、ほう酸イオンも100mlのメスフラスコを使用する。人工海水をメスシリンダに20ml採取し、100mlのメスフラスコに入れて、純水により100mlにする。希釈した人工海水は、サンプルビンに入れガス置換型グローブボックスより搬出され、マイクロシリンジにより100 μ lをイオンクロマト装置に注入して分析を行う。

(4) γ 線の照射

人工海水を入れた2個の石英製三角フラスコをガス置換型グローブボックスより搬出し、照射試験用容器の石英製三角フラスコに化学線計を取り付け「常陽」使用済燃料プール内の使用済燃料ラックの中央の穴に設置し照射を行う。また、未照射は「常陽」使用済燃料プールの放射線の影響がない場所に設置する。

(5) 照射試験用容器の取出し

照射時間24h(1日)、480h(20日)、1440h(60日)の照射

を行い、照射試験用容器を「常陽」使用済燃料プールから取出し短時間（約10分）でガス置換型グローブボックスに搬入する。

(6) 照射後の人工海水のpH、Eh、Do、導電率、イオン濃度を測定

照射前と同様にpH、Eh、Do、導電率、イオン濃度を測定する。なお、2個の石英製三角フラスコのうち1個は経時変化を調査するために時間（約4時間）をおいて測定する。また、人工海水の吸収線量の分析（外部に依頼）を行う。

(7) 測定及び分析データをグラフ化し解析・評価し、吸収線量に対してpH、Eh、Do、導電率、イオン濃度の変化を調査する。また、経時時間に対してpH、Eh、Do、導電率、イオン濃度の経時変化を調査する。

3. 試 験 結 果

3.1 線量測定

照射試験で使用する最高線量当量率測定結果を、表3-1に示す。この結果、49.2～69.2Sv/hであることがわかった。約50Sv/hを得られるラックは8ヶ所ある事がわかった。

条件設定は表3-2に示すように、比較的50Sv/hに近いラックを10ヶ所使用する事により、24時間(1日) 1.4×10^3 Gy、480時間(20日) 3.5×10^4 Gy、1440時間(60日) 9.0×10^4 Gyとなり最高線量当量率69.6Sv/hを使用する事により、1440時間(60日)は期待する吸収線量は得られると思われる。

3.2 ブランク試験

(1) 結 果

- ① 試験水No.1 バブリング無し、No.2 バブリング有りのDo脱気時間50時間に対するpH、Eh、導電率の関係を図3-1に示す。この図からpH約8.5、導電率は約51ms/cmと安定しており、脱気による変化は見られなかった。しかし、Doが $3760 \mu\text{g}/\ell$ のときEhが238mVとなり、Doが $1.0 \mu\text{g}/\ell$ になるとEhが188mVとなる。脱気を行うとEhは低下する傾向がある。また、バブリングを行った試験水No.2の脱気前のDoは $4080 \mu\text{g}/\ell$ 、Ehは238mVであったが2時間後のDoは $21.0 \mu\text{g}/\ell$ と脱気される。Ehは238mVと脱気前と変わらない値になった。また、試験水No.3、No.4のバブリング無しのDoは、脱気時間に対するpH、Eh、導電率の関係を図3-2に示す。この図から試験水No.3は脱気前のDoは $638 \mu\text{g}/\ell$ 、Ehは219mVであったが、約30時間脱気後では、Doが $0.52 \mu\text{g}/\ell$ 、Ehは196mVになりDoが脱気されるとEhは下がる傾向にある。試験水No.4も同様に脱気前のDoは、 $842 \mu\text{g}/\ell$ 、Ehは211mVであったが、約30時間脱気後では、Doが $0.20 \mu\text{g}/\ell$ 、Ehは176mVになり、Doが脱気されるとEhは下がる傾向にある。
- ② 脱気時間に対するEhとDoの関係を図3-3～3-4示す。この結果、試験水No.1でみると脱気前のDoは $3760 \mu\text{g}/\ell$ でありEhは238mVであるが、約30時間後ではDoは約 $1 \mu\text{g}/\ell$ でありEhは約220mV付近でばらつきが大きくなっている。
- ③ ブランク試験を行ったNo.1～No.4の詳細データは、付録-1に示す。

3.3 照射試験

(1) 条件設定

ブランク試験の結果もとに、照射試験に使用する人工海水の性状を以下のように設定した。

- ① 人工海水の D_o が $1 \mu\text{g}/\ell$ の時のpH、導電率、Ehを以下のように設定した。
 - ・水素イオン濃度 pH=約8.5
 - ・溶存酸素濃度 $D_o=1 \mu\text{g}/\ell$
 - ・導電率 約51ms/cm
 - ・酸化還元電位 Eh=約216mV
 - ② 人工海水の脱気方法は、約2日（48時間以上）とし、ガス置換型グローブボックス内に置くだけの脱気とした。
 - ③ ガス置換型グローブボックス内雰囲気条件は「常陽」使用済燃料プール水温度は外気を取り入れているので温度調整は不可能である。また、ガス置換型グローブボックス内での温度調整は不可能であるが、測定室の温度調整は可能であるため、測定室の温度を一定にしてガス置換型グローブボックス内を約 20°C とした。
 - ④ ガス置換型グローブボックス内の酸素濃度の測定については、酸素濃度測定器は最小測定限界が0.01%である。しかし、ガス置換型グローブボックス内の酸素濃度は0.00%まで低下し、測定限界まで達していることからガス置換型グローブボックス内の酸素濃度は0.01%以下とした。
- (2) 人工海水の吸収線量を以下の通りである。
- ① 24h（1日） $1.0 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^3 \text{Gy}$
 - ② 240h（10日） $5.5 \times 10^3 \sim 6.2 \times 10^3 \text{Gy}$
 - ③ 480h（20日） $1.4 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^4 \text{Gy}$
 - ④ 1440h（60日） $4.4 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^4 \text{Gy}$
- 人工海水の吸収線量に差があるのは、照射試験用容器に三角フラスコを2個入れて三角フラスコに一個ずつ化学線量計を取り付けたためである。
- (3) 吸収線量に対するEhの関係を図3-5に示す。その図から照射前のEhは241mVであったが、1440時間（60日）の照射後では156mVと減り、Ehが下がる傾向がある。しかし、Ehのばらつきが大きい。
 - (4) 吸収線量に対する D_o の関係を図3-6に示す。その図から照射前の D_o は $20.76 \mu\text{g}/\ell$ であるが1440時間（60日）は、 $5930 \mu\text{g}/\ell$ と増え吸収線量が増えると D_o も増える傾向がある。
 - (5) 吸収線量に対するpH、導電率、イオン濃度の関係を図3-7～3-9に示す。その結果、照射前後のpH、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度は γ 線照射の影響は見られなかった。
 - (6) 吸収線量に対する硝酸イオンの関係を図3-10に示す。その結果、照射前の480時間（20日）に2.9ppmと、照射後には105ppmの硝酸イオンが検出された。また、480時間（20日）の未照射前にも硝酸イオンが4.0ppm、未照射では5.9ppm検出さ

れた。1440時間（60日）の照射後に15ppmと1440時間（60日）の未照射後に11ppmの硝酸イオンが検出された。

- (7) 未照射の試験ではpH、Eh、Do、導電率、人工海水の全てのイオン濃度は放射線の影響は見られなかった。
- (8) 経過時間とEh、Do、導電率、イオン濃度の関係を図3-11～3-16示す。
その結果、照射後の約4時間後に測定したpH、Eh、Do、導電率、人工海水の全てのイオン濃度の経時変化は見られなかった。しかしEhのばらつきが大きい。
- (9) 20日間及び60日間照射を行った時、石英製三角フラスコの栓を外した際、気泡の発生が見られた。
- (10) 照射試験を行った24時間（1日）～1440時間（60日）の詳細データは、付録-2に示す。

4. 考 察

(1) ブランク試験

- ① 試験水No.1～No.4の導電率は5.1 mS/cm、pHは約8.5でブランク試験期間中の脱気による変化は見られなかった。また、Doは約50時間脱気した結果、約 $1\mu\text{g}/\ell$ を確認した。この値はガス置換型グローブボックスの側面に測定用の配線をする穴をあけたため、気密性が悪くなりそれらを考慮すると限度と思われる。
- ② Ehについては、Doが脱気されるとEhは低下する傾向はあるが、脱気時間約26時間でDoは安定しているが、Ehはバラツキが多くなっている。今回のブランク試験のデータ量が少なくDoとEhの関係を断定することは不可能であると思われる。
- ③ バブリングを行ったNo.2の試験水は、脱気開始から約4.5時間後までは急速にDoが脱気されるが5.0時間後には、バブリングを行わない（ガス置換型グローブボックス内に置くだけの脱気）Doの脱気と同じ約 $1\mu\text{g}/\ell$ となるため、バブリングを行った脱気とバブリングを行わない脱気方法では、脱気時間は同じであることが確認された。

(2) 照射試験

- ① 放射線で水を照射すると、放射線分解し一次反応として、ラジカル、イオン、分子になる。さらに放射線分解した物質が水と反応し、水素の原子と水酸基、過酸化水素等の分子を生成する^{(2) (3) (4)}。一次生成物は、二次生成物とならないで存在する物質も予測される^{(5) (6) (7)}。このため酸素等は、Doを上昇させたと思われる。また、水素、水酸基はEhを低下させたと思われる。長田らは、 ^{60}Co ($1 \times 10^6 \text{R/h}$) の γ 線照射下に於ける1M、0.1M塩化ナトリウム溶液を使用してステンレス綱の腐食試験を行い、照射中のEhは-300mVまで低下している⁽⁸⁾。本試験は照射後の測定であるが、長田らと同じようにEhが低下している。
- ② 照射、未照射に硝酸イオンが検出されたことは、保管中の人工海水に空気中の窒素が溶け込み水の分解生成物と反応し、硝酸イオンが生成されたと思われる。
- ③ ガスの発生は、水素、酸素が放射線分解により生成され、石英製の三角フラスコの栓を開けた際、水に溶存不可能となったガスが気泡となったと思われる。また、未照射では気泡の発生は見られなかった。W. J. Grayらは、 γ 線照射下における塩水性溶液の試験を行い、 $2.5 \times 10^9 \text{rad}$ の吸収線量で行っている。平衡気圧が約1.0 atm ($1.0 \times 10^5 \text{Pa}$) のとき、水素ガスと酸素ガスが生成されることから、本試験においても水素ガスと酸素ガスが発生したと思われる⁽⁹⁾。
- ④ 今回の試験では照射後の経時変化は確認できなかつたが、原研の長田の結果から判断すると試験では、照射後約10分でガス置換型グローブボックス内に入れ、また、Doの測定に20分間必要としている⁽⁸⁾ことから、この間にEhが戻ったと考えられる。

照射中の水は、常に約 10^{-16} sec のスピードで放射線分解を行っているため、イオンや分子が元に戻る速度も放射線分解している同じスピードと思われる⁽⁴⁾。

- ⑤ ブランク試験での D_o は約 $1 \mu\text{g}/\ell$ であったが、今回の試験においてはグローブ作業が多くガス置換型グローブボックス内が負圧状態になることがあり測定器類の配線をするため、穴を開けた場所から外気が混入しガス置換型グローブボックス内の酸素濃度が 0.10% と高くなり、 D_o 測定中（電極内部の電解液が測定する人工海水の温度と同じ温度になる時間に 20 分必要とする。）に人工海水に酸素が溶け込こみ、照射前の D_o が高くなったと思われる。
- ⑥ フッ素イオン濃度はサンプルによって、濃度にばらつきがあったり検出されなかったりしているが、フッ素イオンは他の陰イオンと比べて濃度が 50 倍～14000 倍も小さいため、200 倍希釈するとフッ素濃度が 0.007 ppm となり、イオンクロマト装置の感度を良くしても検出することが困難になり、フッ素イオン濃度の未検出やばらつきが生じた。
- ⑦ 人工海水中の全てのイオン濃度については、人工海水中のイオン種が多く、また、イオン濃度差が大きいため、希釈による誤差もあり放射線の影響で変化が生じても検出が困難になった。

5. 結 言

- (1) 「常陽」使用済燃料プール貯蔵ラック γ 線空間線量を行い 10ヶ所試験で使用した。その値は 24 h (1日) $1.4 \times 10^3 \text{Gy}$ が $1.0 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^3 \text{Gy}$ 、480 h (20日) $3.5 \times 10^4 \text{Gy}$ が $1.4 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^4 \text{Gy}$ 、1440 h (60日) $9.0 \times 10^4 \text{Gy}$ が $4.4 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^4 \text{Gy}$ であった。
- (2) 照射前の pH、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度及び γ 線照射後の pH、導電率、人工海水中の全てのイオン濃度の測定には、変化が無い事が得られた。
- (3) 照射後の 1440 時間 (60日) の Eh は、照射前に比べて 35.3% 減る事が得られた。
- (4) 照射後の 1440 時間 (60日) の Do は、照射前に比べて 285 倍と増える事が得られた。
- (5) 480 時間 (20日) の照射前に 2.9 ppm と照射後も 105 ppm の硝酸イオンが検出された。また、480 時間 (20日) の未照射前に 4.0 ppm と未照射後も 5.9 ppm 硝酸イオンが検出された。1440 時間 (60日) の照射後に 15 ppm と未照射後に 11 ppm の硝酸イオンが検出された。
- (6) 照射後の一定時間内による pH、Eh、Do、導電率、人工海水の全てのイオン濃度の変化は見られなかったため、人工海水での照射試験は、照射後の経時変化は無い事が得られた。

6. 謝 辞

本研究を進めるに当たり大洗工学センター「常陽」実験炉一課照沼課長、伊東主査、鈴木（寿）の御協力及び東海事業所環境技術開発部地層処分研究開発室の御指導を頂き深く感謝する。

7. 参 考 文 献

- (1) T R U核種等の地球化学的挙動に関する調査研究, PNC, SJ, 121-84-07(2),
1984年6月
- (2) 原子炉冷却系の水化学, 「水化学」研究専門委員会, 日本原子力学会, 1985年5月
- (3) 田畑米穂:放射線化学, 東京大学出版会
- (4) 九里善一郎:放射線化学, 共立出版株式会社, 1986年
- (5) E. Ibe, et al: Nucl, Technol, 23,11(1986)
- (6) E. Ibe and S. Uchida: Nucl, Sci, Eng,
89, 330(1985)
- (7) E. Ibe and S. Uchida: Nucl, Sci, Eng,
90, 140(1985)
- (8) γ 線照射下におけるステンレス網の腐食試験, 日本原子力学会, 1992年3月
- (9) W. J. Gray: Gamma Radiolysis of Ground-
waters Found Near Potential Radioac-
tive Waste Repositories; Proceedings of
Second International Symposium on Ce-
ramics in Nuclear Waste Managment(1983)

表2-1 測定機器

項目	測定機器	測定範囲	精 度
pH	オリオン EA920型	0~14.000pH	±0.002pH
ORP	堀場 F-16型 pHメーター	0~±1999(.9)mV	±15mV
Do	東亜電波 Do-30A 低濃度ポータブル溶存酸素計	0~19.99 $\mu\text{g}/\ell$ (ppb) 0~199.9 $\mu\text{g}/\ell$ (ppb) 0~1.999 mg/ ℓ (ppm) 0~19.00 mg/ ℓ (ppm)	±0.1 $\mu\text{g}/\ell$ (0~19.99 $\mu\text{g}/\ell$ レンジ) ±0.3 $\mu\text{g}/\ell$ (0~199.9 $\mu\text{g}/\ell$ レンジ) ±0.003 mg/ ℓ (0~1.999 mg/ ℓ レンジ) ±0.03 mg/ ℓ (0~19.00 mg/ ℓ レンジ)
導電率	堀場 DS-15型 導電率計	0~19.99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 0~199.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 0~1.999 mS/ cm 0~19.99 mS/ cm 0~199.9 mS/ cm	±0.05% F. S.
温度	堀場 F-16型 pHメーター	0~100°C	±0.1°C
酸素モニター	飯島電気工業 MC-7000GU	0.00~25.00%	フルスケールの±2% (一定の温度)
イオン濃度 (陽イオン, 陰イオン) (炭酸イオン)	東亜電波 ICA-3000 イオン分析システムII	表2-2 参照	_____
化学線量計	日立電線 アラニン線量計 (アミノグレイ)	10~10 ⁵ Gy	10~10 ² Gy ±2% 10 ² ~10 ⁵ Gy ±1%
線量計	エバーライン社 水中モニタ	10~2000R/h 0.001~2R/h	_____

表 2-2 人工海水のイオン濃度に対する分析範囲

イオン種	人工海水の組成(ppm)	200倍希釈の検出下限値(ppm)	イオン単独である時の分析範囲
塩素 (Cl ⁻)	19,990 ± 5%		100ppm ~ 2ppb
硫酸 (SO ₄ ²⁻)	2,708 ± 5%	1.5	300ppm ~ 7ppb
炭酸水素 (HCO ₃ ⁻)	144 ± 5%	*20 ~ 40	2000ppm ~ 1ppm
フッ素 (F ⁻)	1.4 ± 5%	0.6 ~ 1.2	60ppm ~ 3ppb
臭素 (Br ⁻)	69 ± 5%	1.5	300ppm ~ 7ppb
ホウ酸 (BO ₃ ³⁻)	29 ± 5%	*20 ~ 40	1000ppm ~ 1ppm
ナトリウム (Na ⁺)	11,088 ± 5%		100ppm ~ 5ppb
カリウム (K ⁺)	297 ± 5%	3 ~ 5	200ppm ~ 15ppb
カルシウム (Ca ²⁺)	418 ± 5%	1	200ppm ~ 4ppb
マグネシウム (Mg ²⁺)	1,328 ± 5%	1	100ppm ~ 2ppb
ストロンチウム (Sr ²⁺)	61 ± 5%	3	200ppm ~ 11ppb

* 5倍希釈

表 2-3 分析時間及び条件

	イオン種	試薬	分析時間
陰イオン	F ⁻ Cl ⁻ Br ⁻ SO ₄ ²⁻	2.5mM フタル酸 2.4mM トリスヒドロキシメチルアミノメタン	20 (分)
陽イオン1	Na ⁺ K ⁺	4 mM硝酸	12 (分)
陽イオン2	Ca ²⁺ Mg ²⁺ Sr ²⁺	4 mM酒石酸 2 mMエチレンジアミン	12 (分)
炭酸イオン	HCO ₃ ⁻ BO ₃ ³⁻	(溶離液) 5 mM過塩素酸 (pH調整液) 5 mM過塩素酸 20mMトリスヒドロキシメチルアミノメタン	20 (分)

表 2 - 4 人工海水の組成

項	目	組	成
水素イオン濃度	(pH)	7.58~8.07	
塩素イオン	(Cl ⁻)	19,990	±5%
硫酸イオン	(SO ₄ ²⁻)	2,708	±5%
炭酸水素イオン	(HCO ₃ ⁻)	144	±5%
フッ素イオン	(F ⁻)	1.4	±5%
臭素イオン	(Br ⁻)	69	±5%
ホウ酸イオン	(BO ₃ ³⁻)	26	±5%
ナトリウムイオン	(Na ⁺)	11,088	±5%
カリウムイオン	(K ⁺)	297	±5%
カルシウムイオン	(Ca ²⁺)	418	±5%
マグネシウムイオン	(Mg ²⁺)	1,328	±5%
ストロンチウムイオン	(Sr ²⁺)	61	±5%

表 2 - 5 ブランク試験条件

試 験 水	水 温 (°C)	バ ブ リ ン グ	試 験 日 数
No. 1	1 5 ~ 2 5	無 し	3
No. 2	1 5 ~ 2 5	有 り	3
No. 3	2 3 ~ 3 5	無 し	2
No. 4	2 3 ~ 3 5	有 り	2

表 3 - 1 照射試験で使用するラックの最高線量当量率測定結果

使用する ラックNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Max線量 (Sv/h)	53.5	57.2	49.5	53.0	69.6	66.5	49.2	59.2	50.0	56.9

表 3 - 2 照射条件

照 射 時 間	予想吸収線量 (G y)
24時間 (1日)	1.4×10^3
480時間 (20日)	3.5×10^4
1440時間 (60日)	9.0×10^4

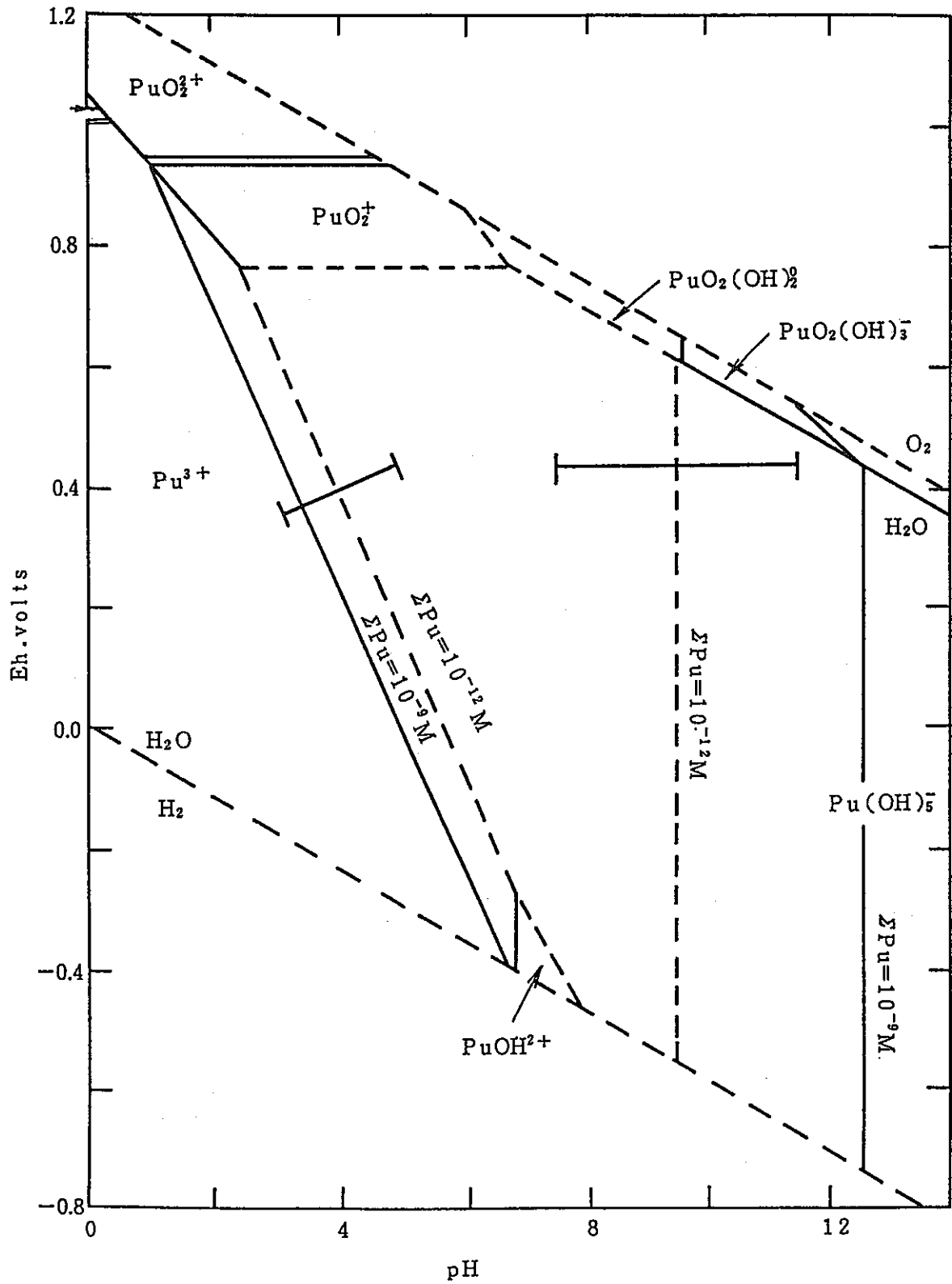


図 1 - 1 pH及びEhとの核種の化学形態との関係

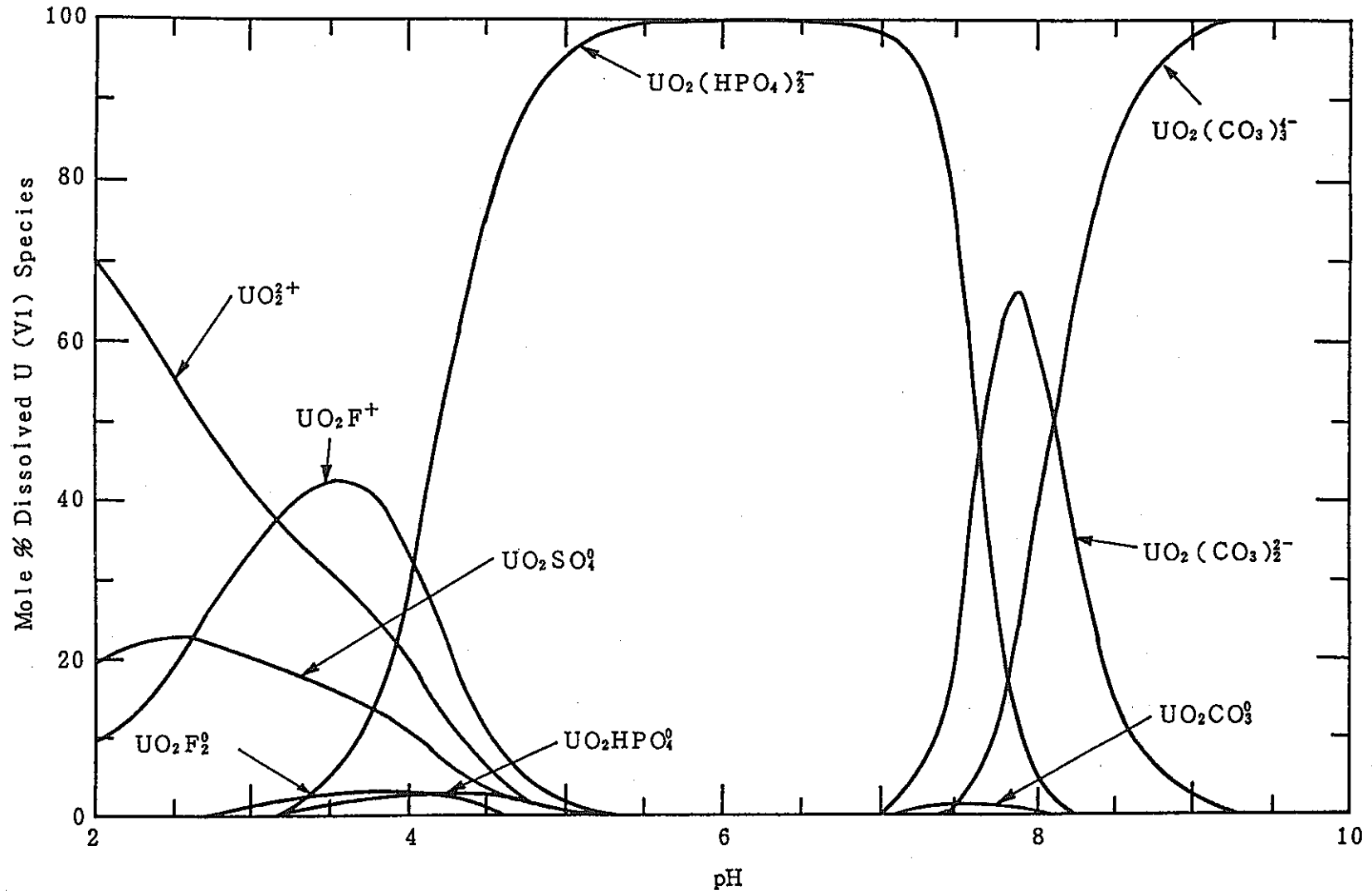


図1-2 地下水でのpHと核種の溶解度との関係

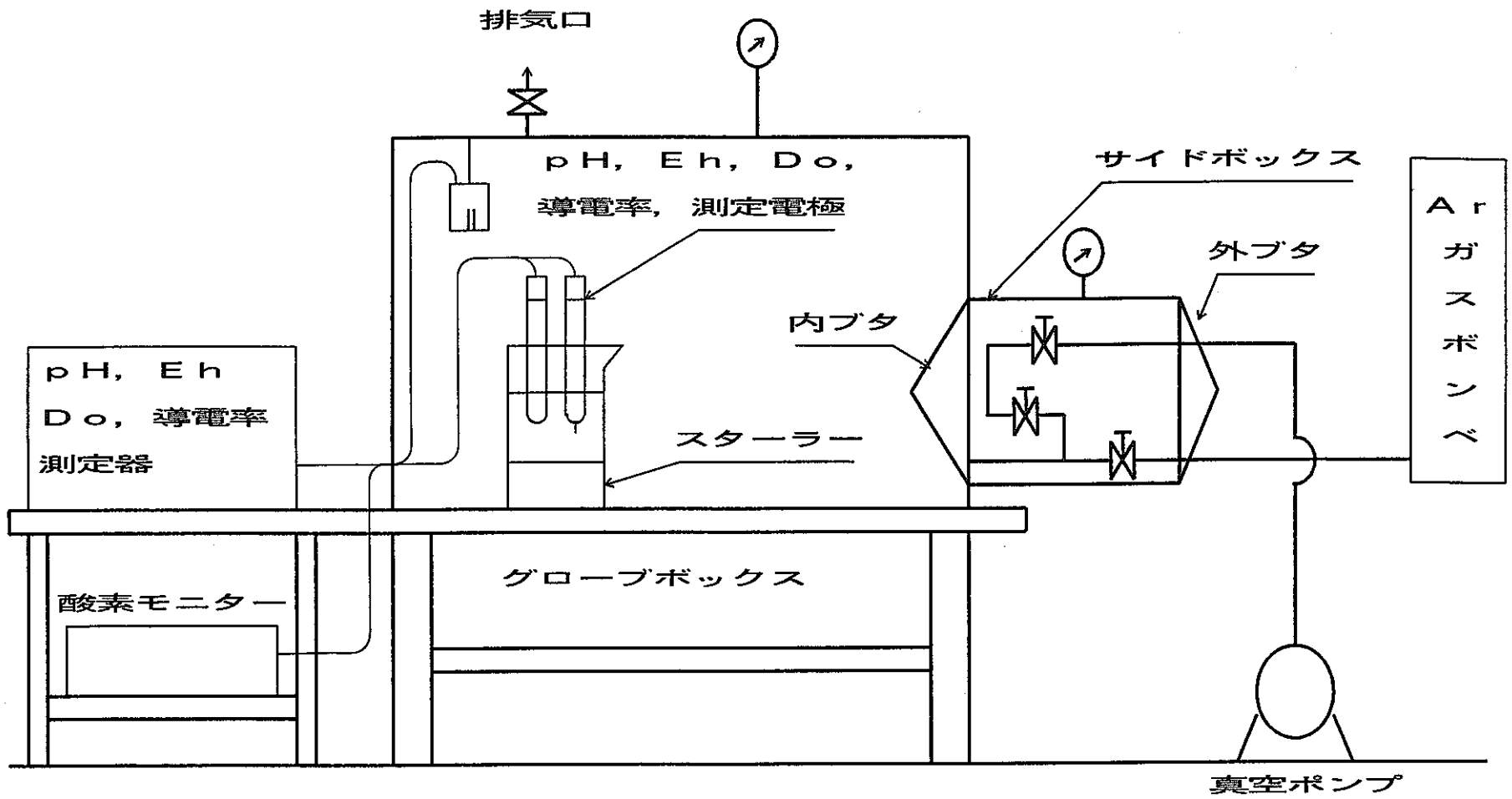


図2-1 ガス置換型グローブボックス概要

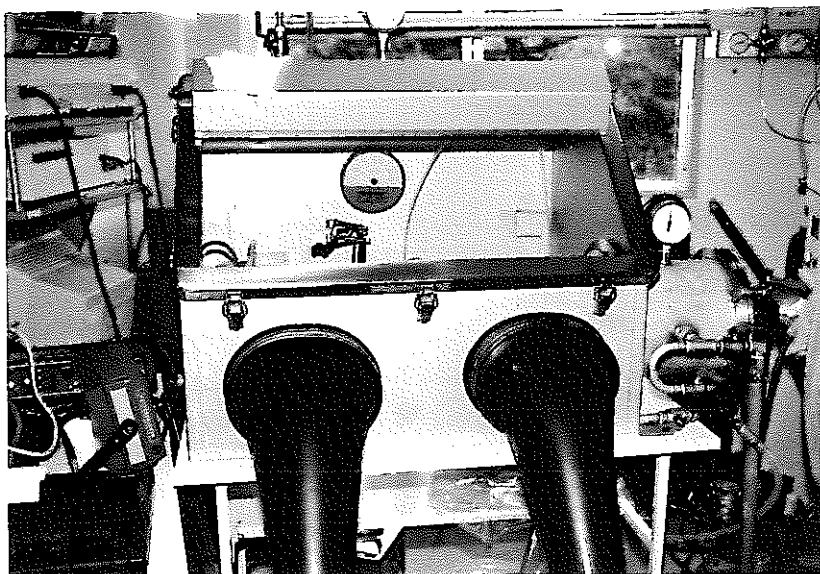


図 2 - 2 ガス置換型グローブボックス

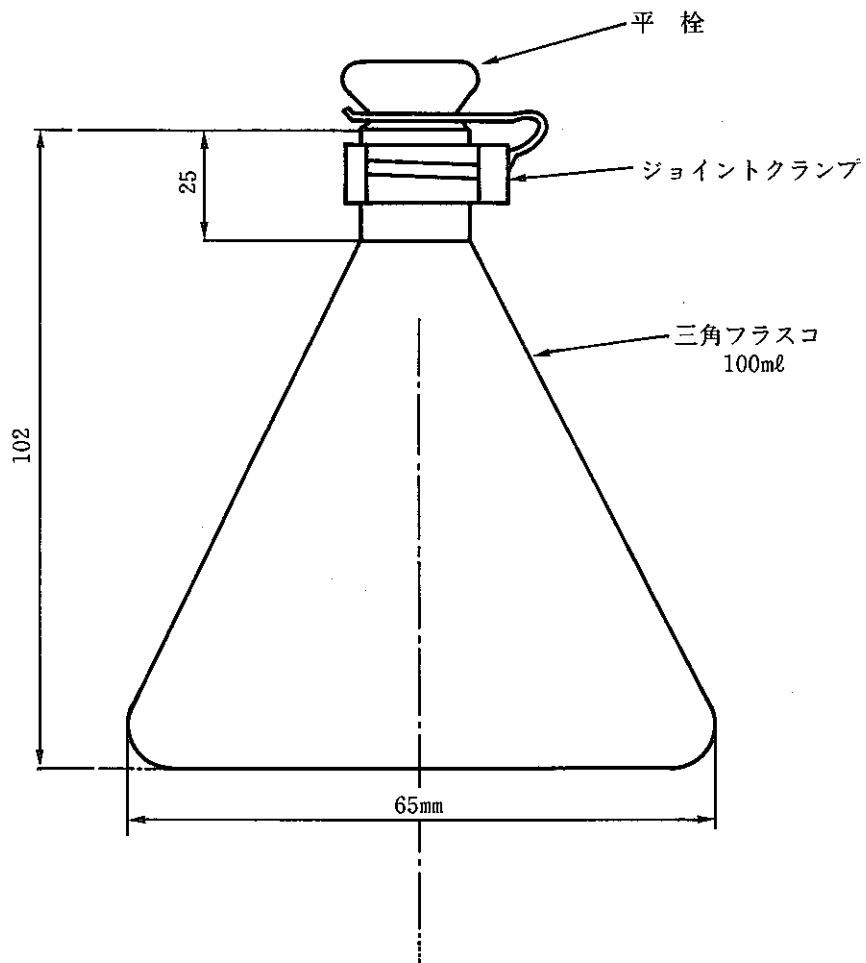


図 2 - 3 石英製三角フラスコ

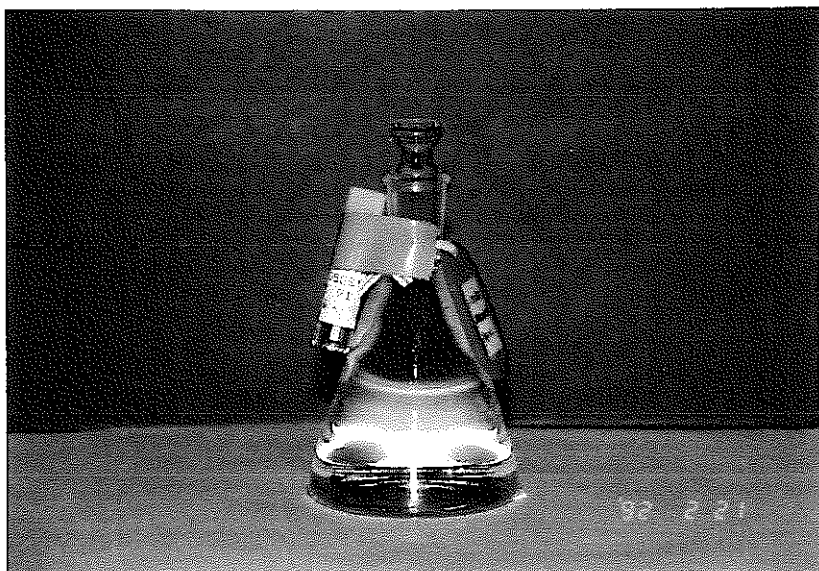


図 2 - 4 石英製三角フラスコ及び化学線量計

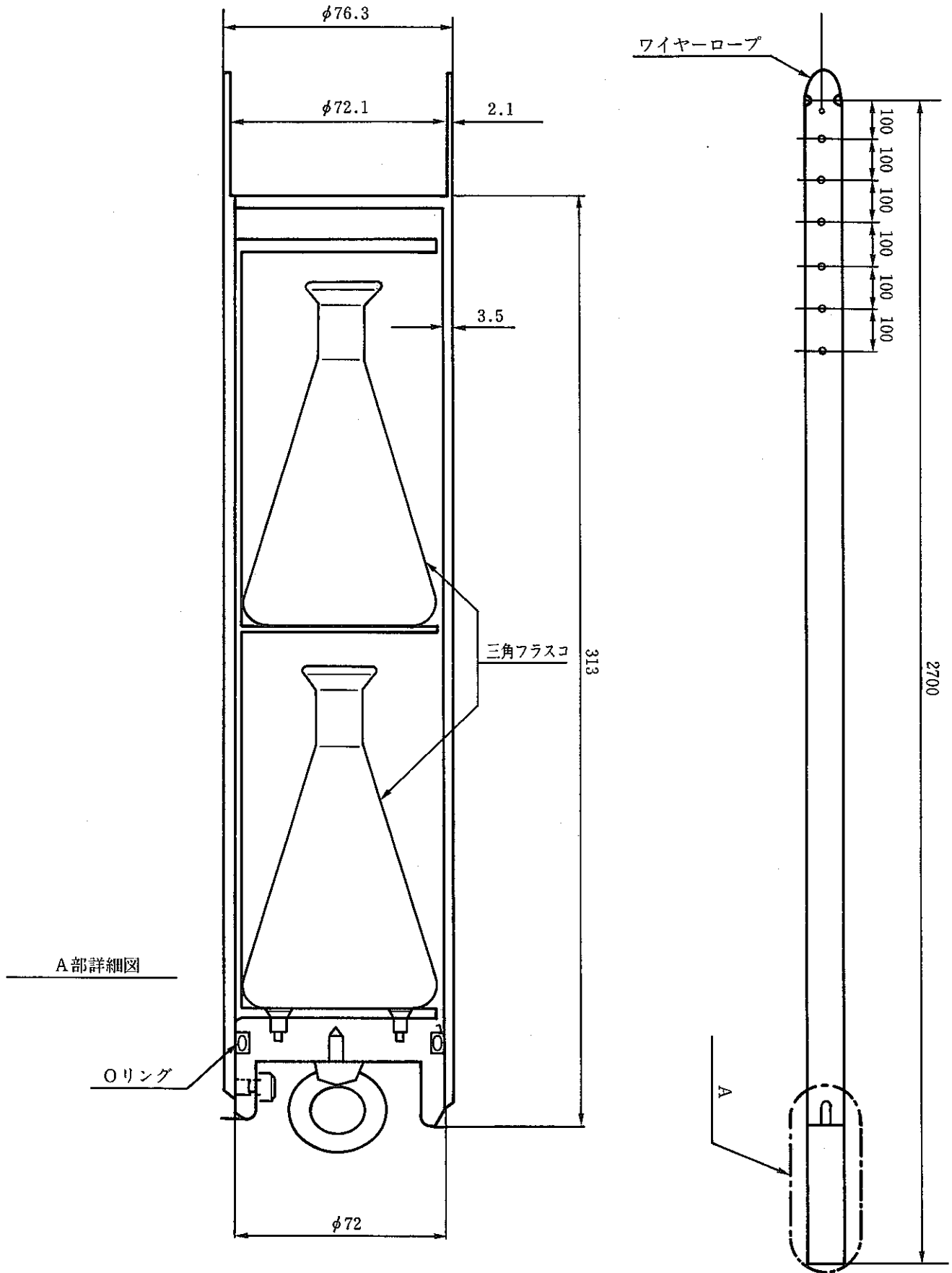


図 2 - 5 照射試験用容器

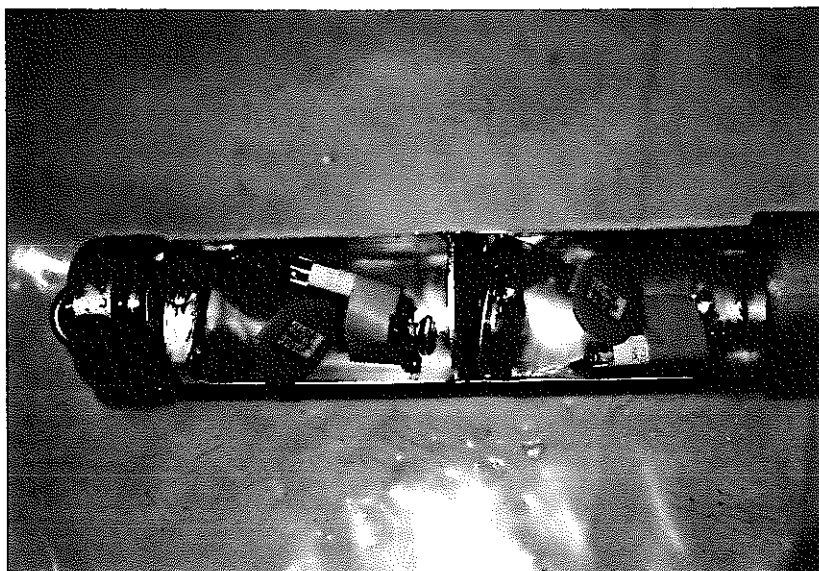


図 2 - 6 照射試験用容器に入れた三角フラスコ

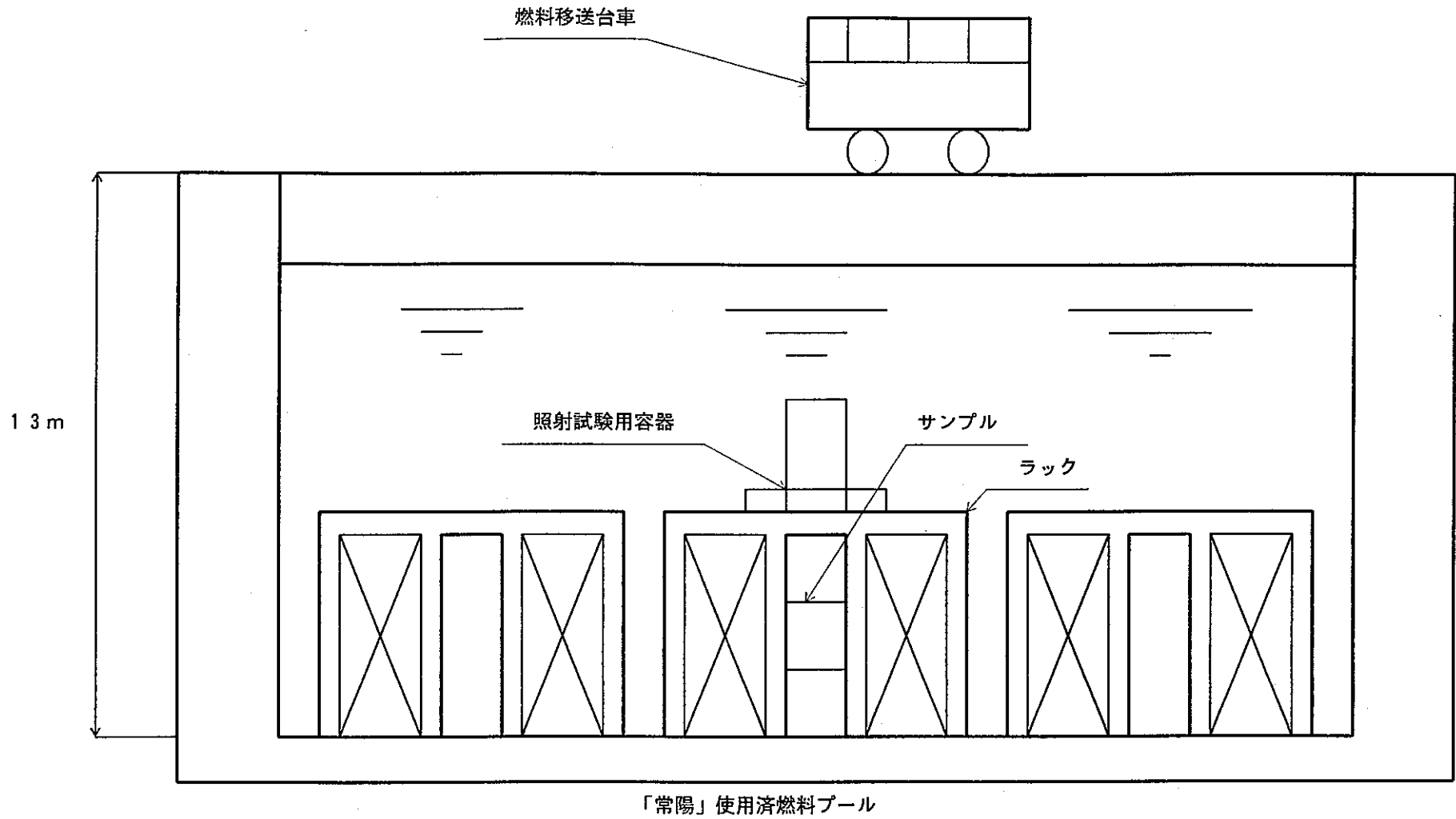


図 2 - 7 照射試験の概要

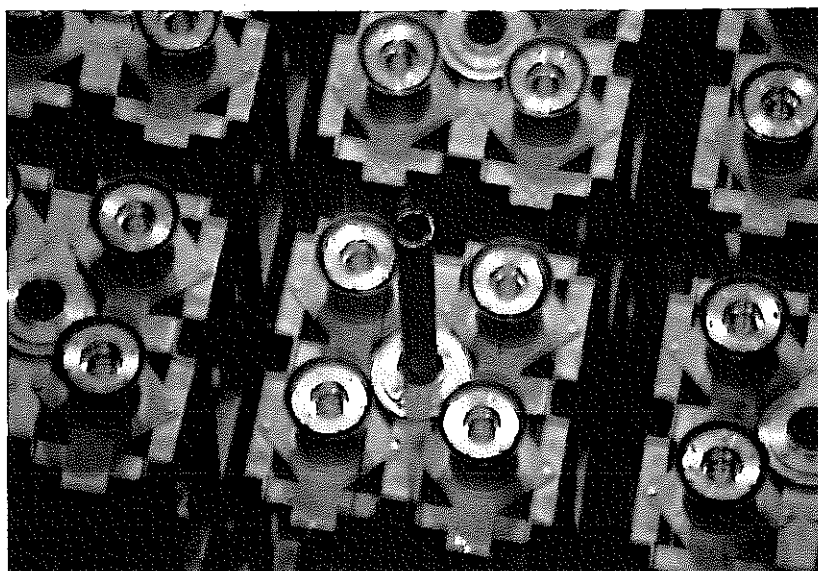


図 2 - 8 照射試験用容器をラックに入れた状態

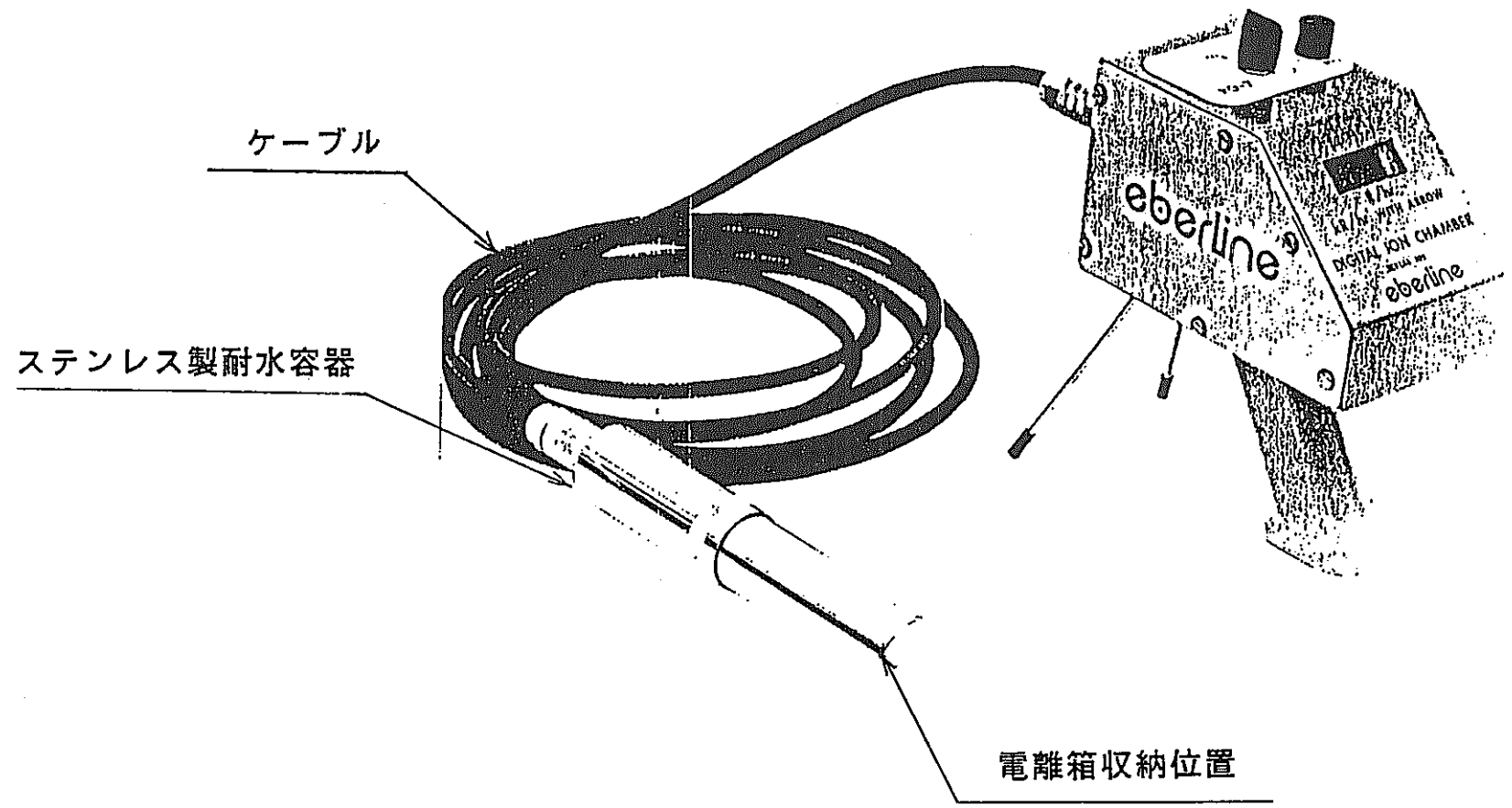


図2-9 水中モニタの外観

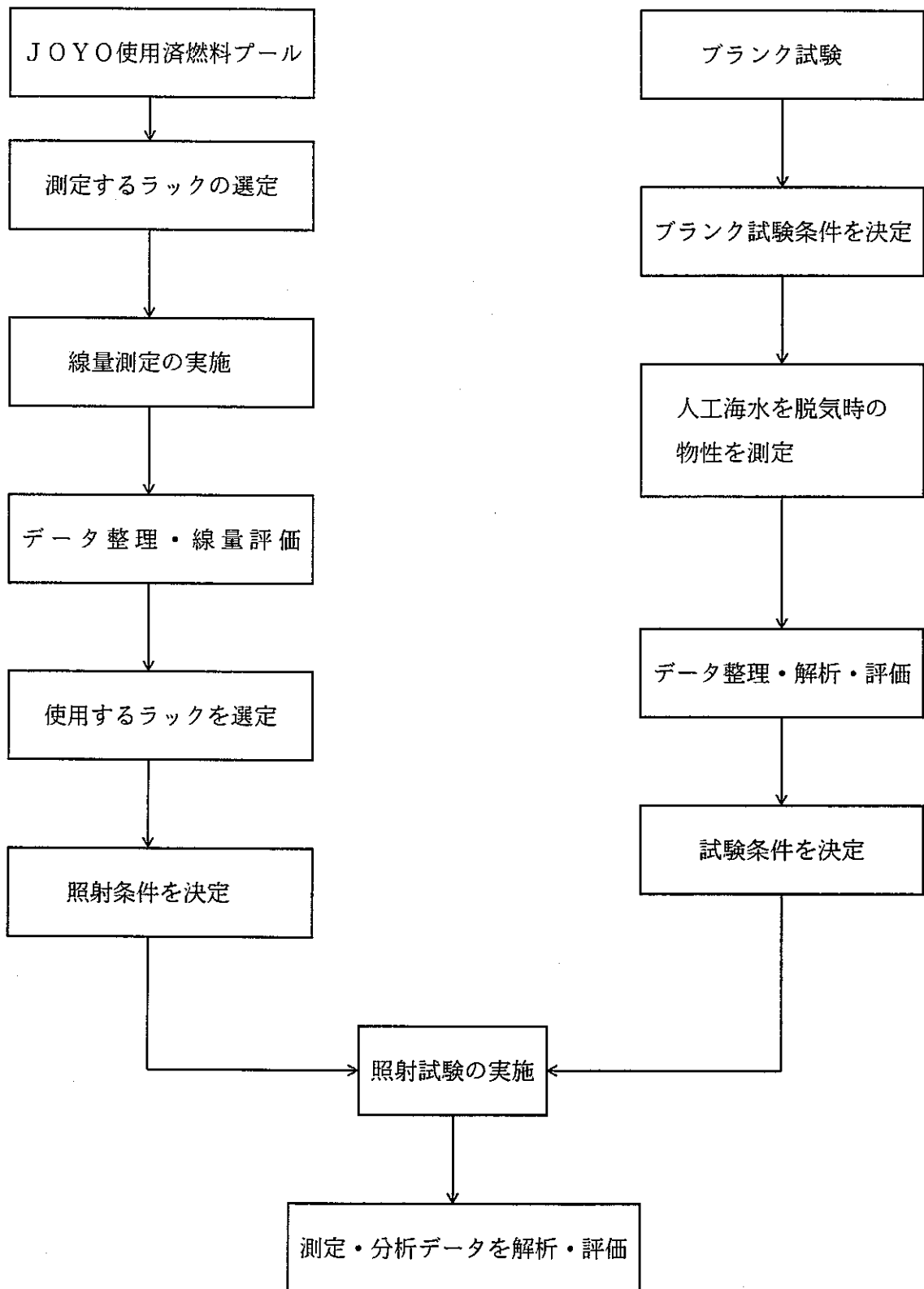


図2-10 照射試験フロー図

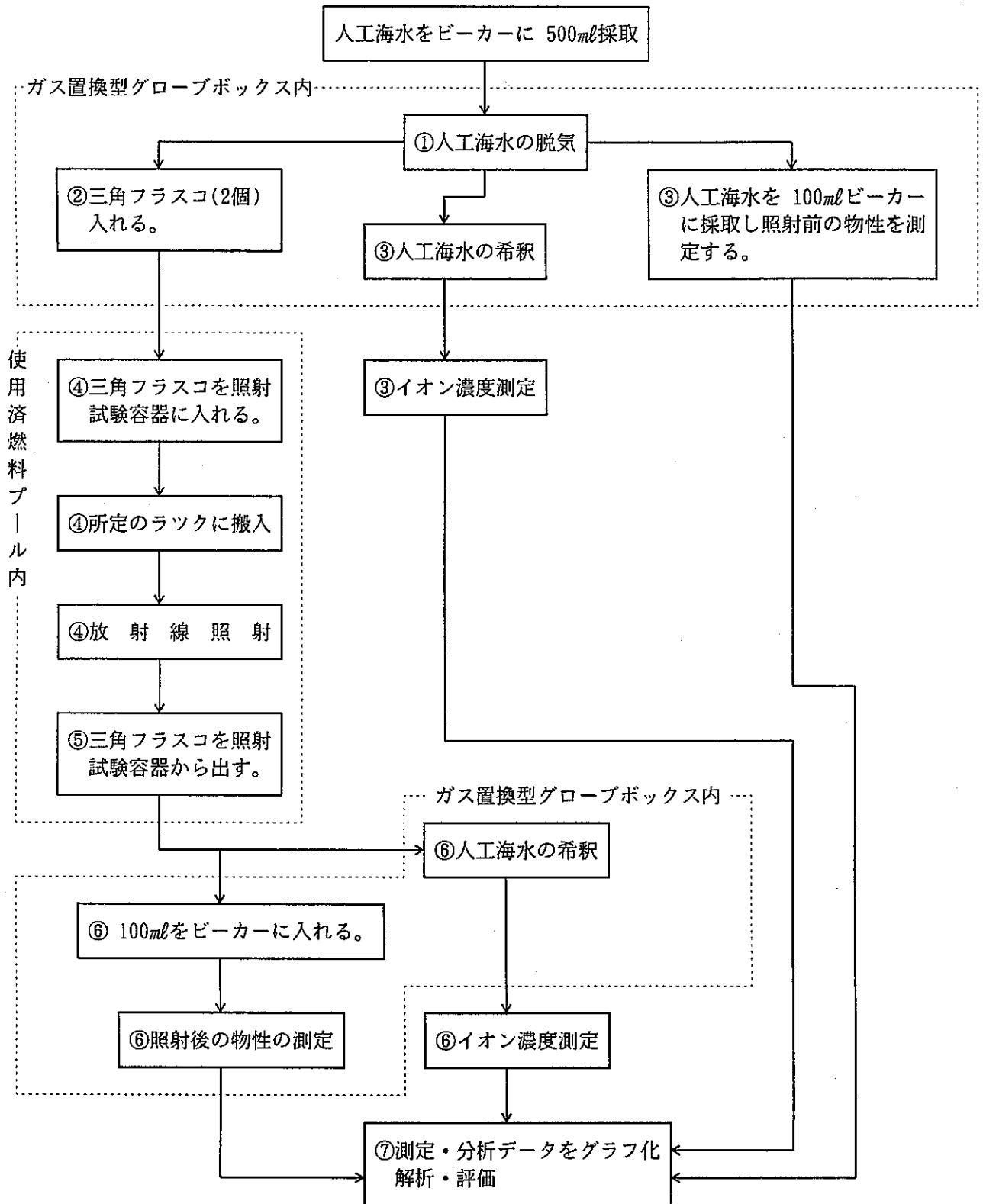


図 2 - 11 照射試験詳細フロー図

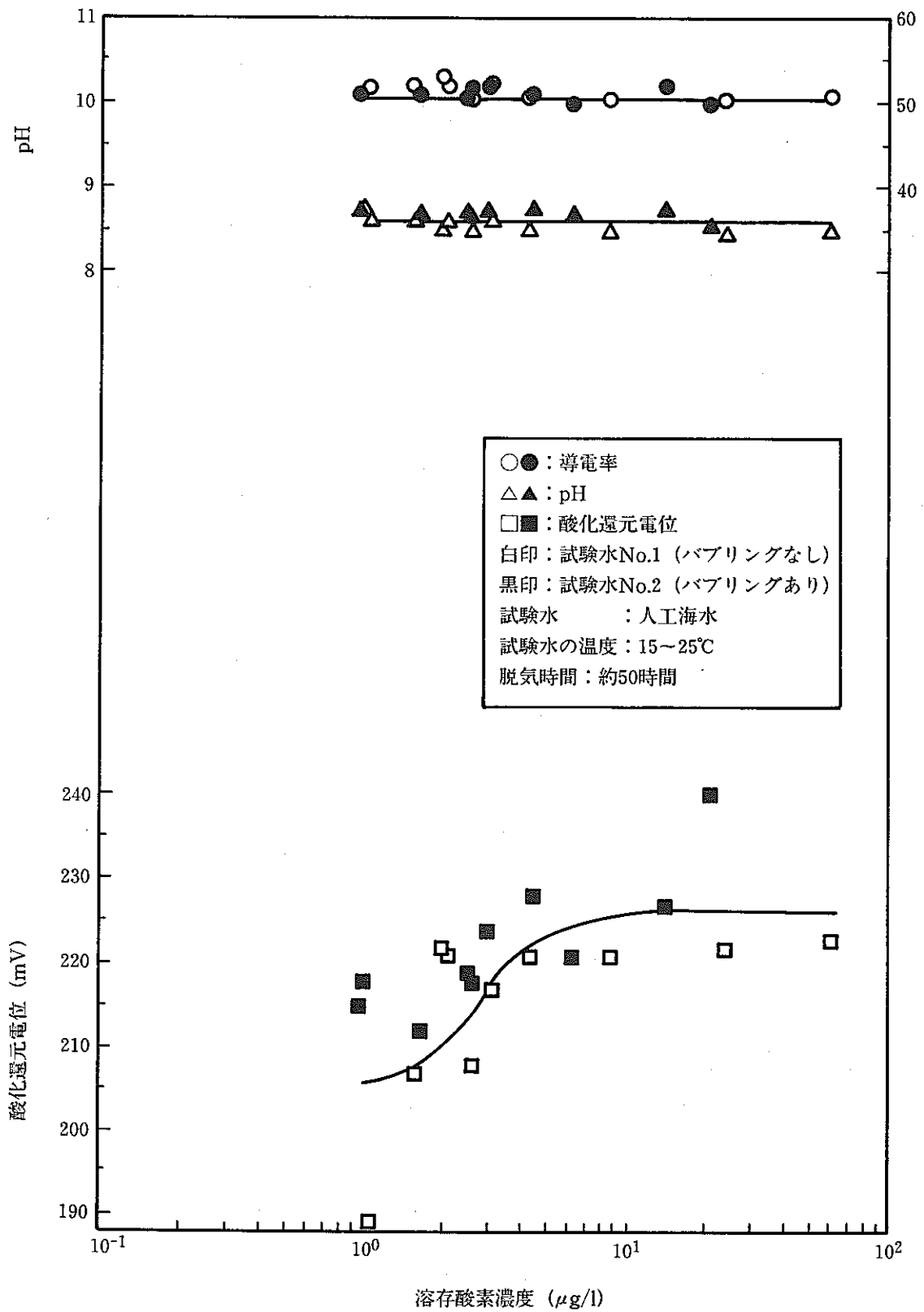


図3-1 Doと脱気時間に対するpH、Eh、導電率の関係

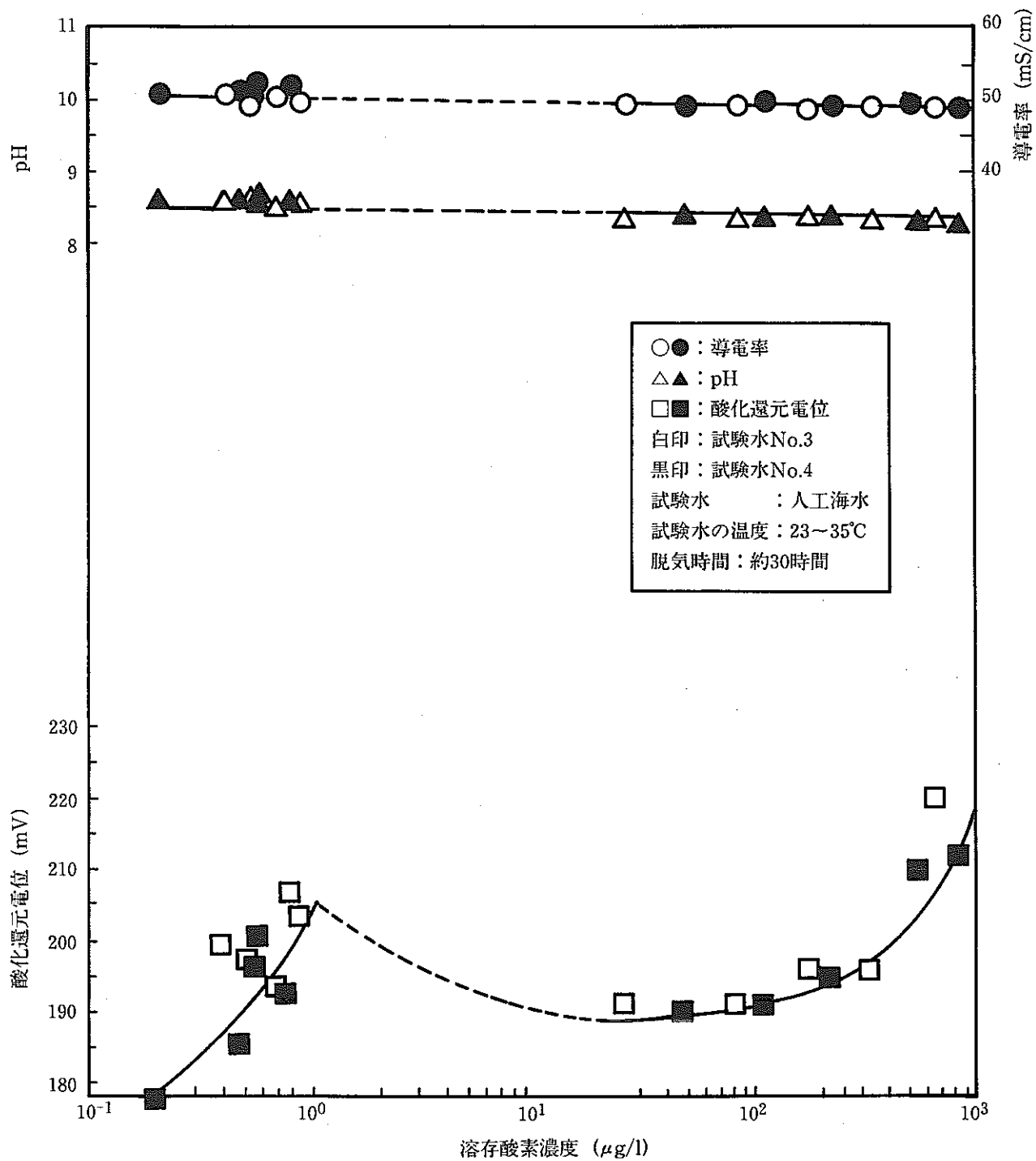


図3-2 Doと脱気時間に対するpH、Eh、導電率の関係

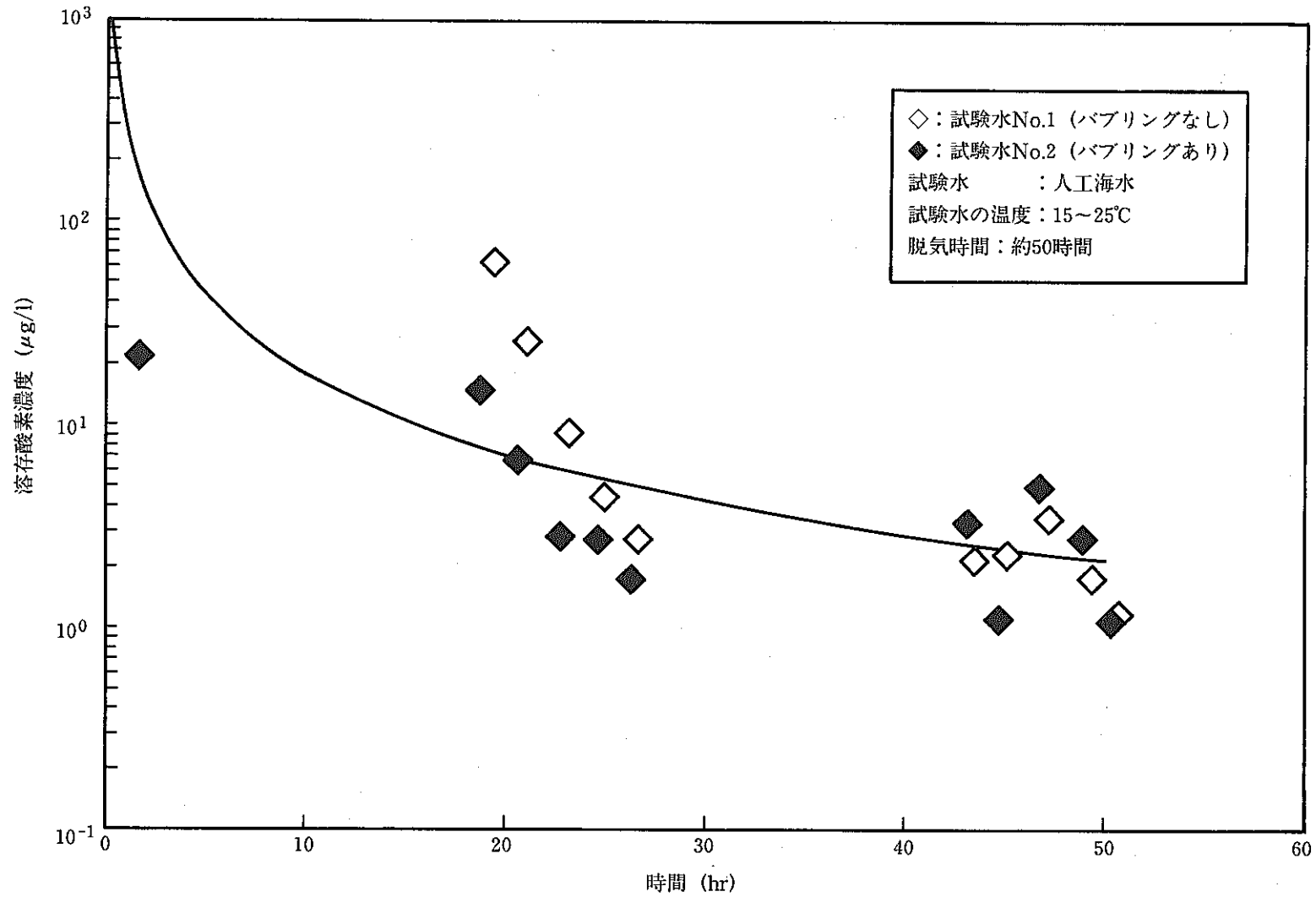


図 3 - 3 脱気時間とD oの経時変化の関係

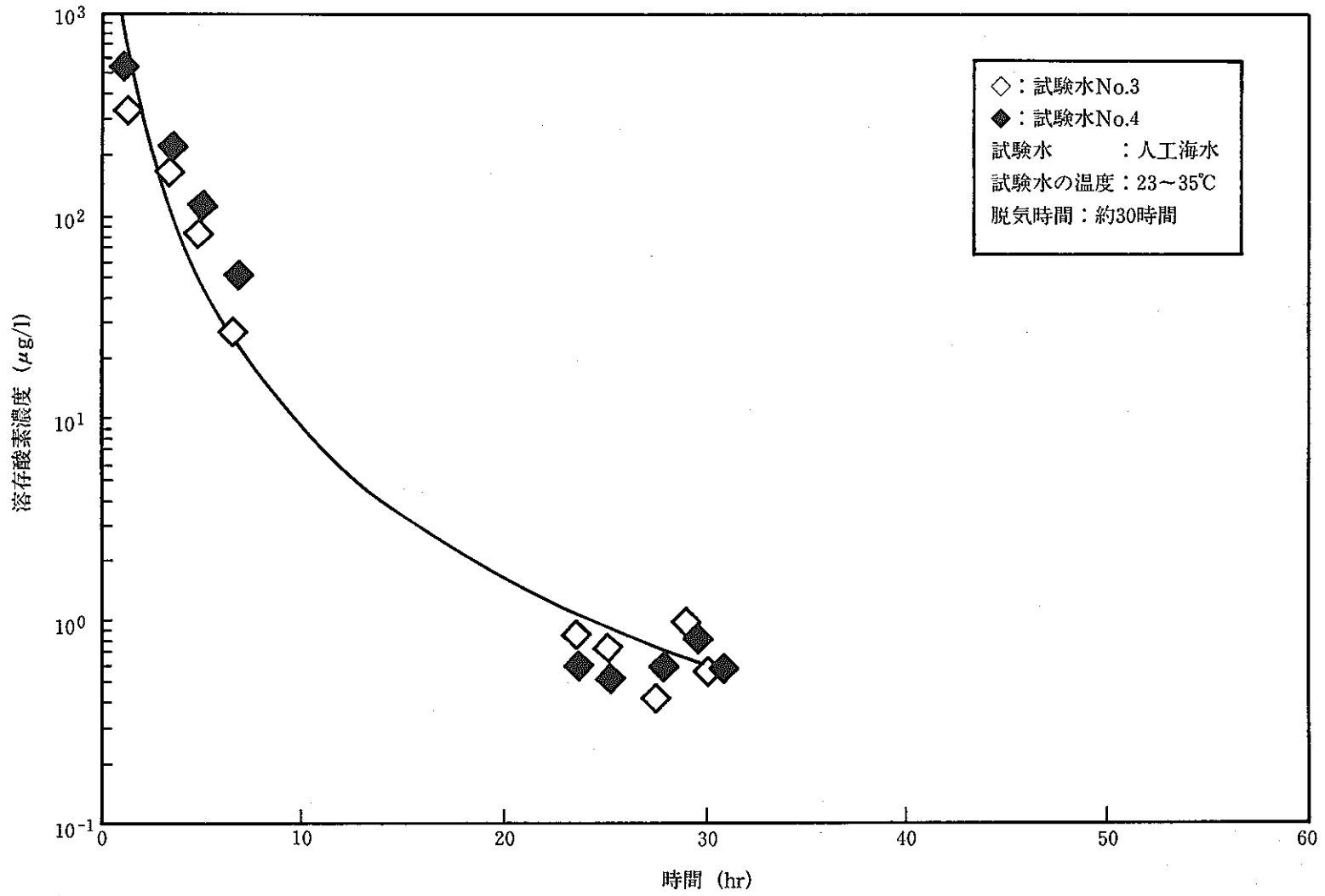


図3-4 脱気時間とD_Oの経時変化の関係

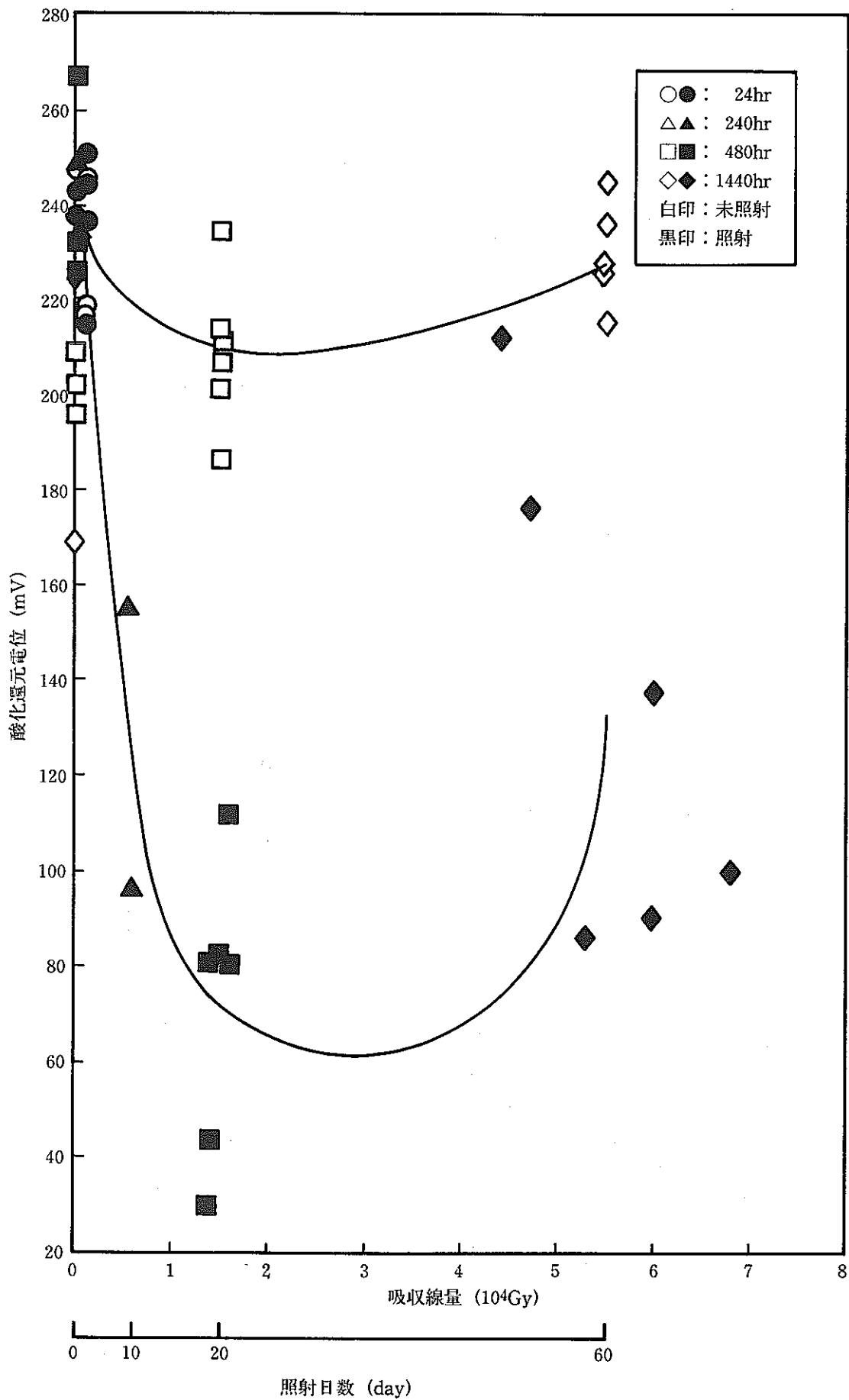


図 3 - 5 吸収線量と E h の関係

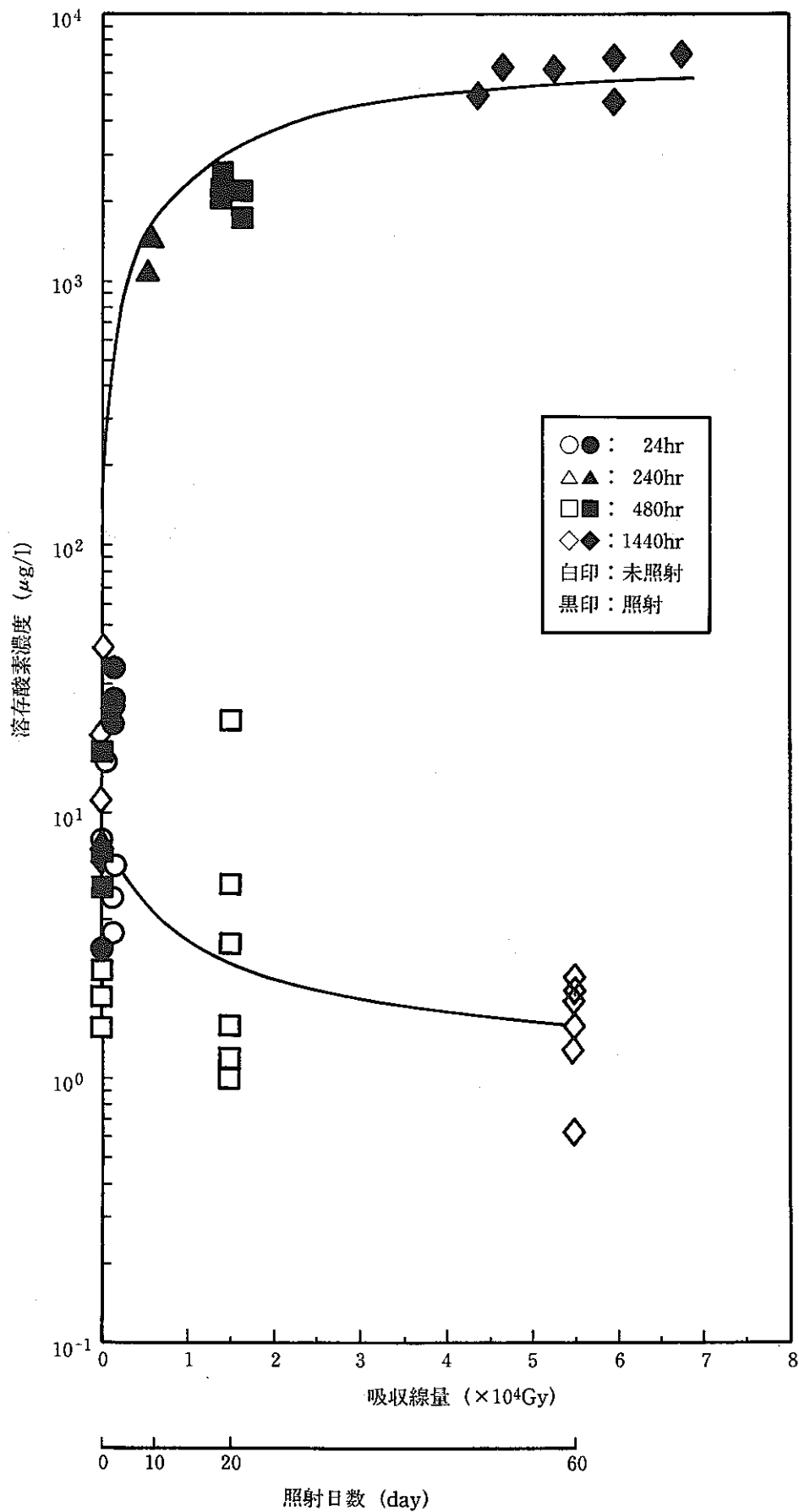


図 3 - 6 吸収線量と D o の関係

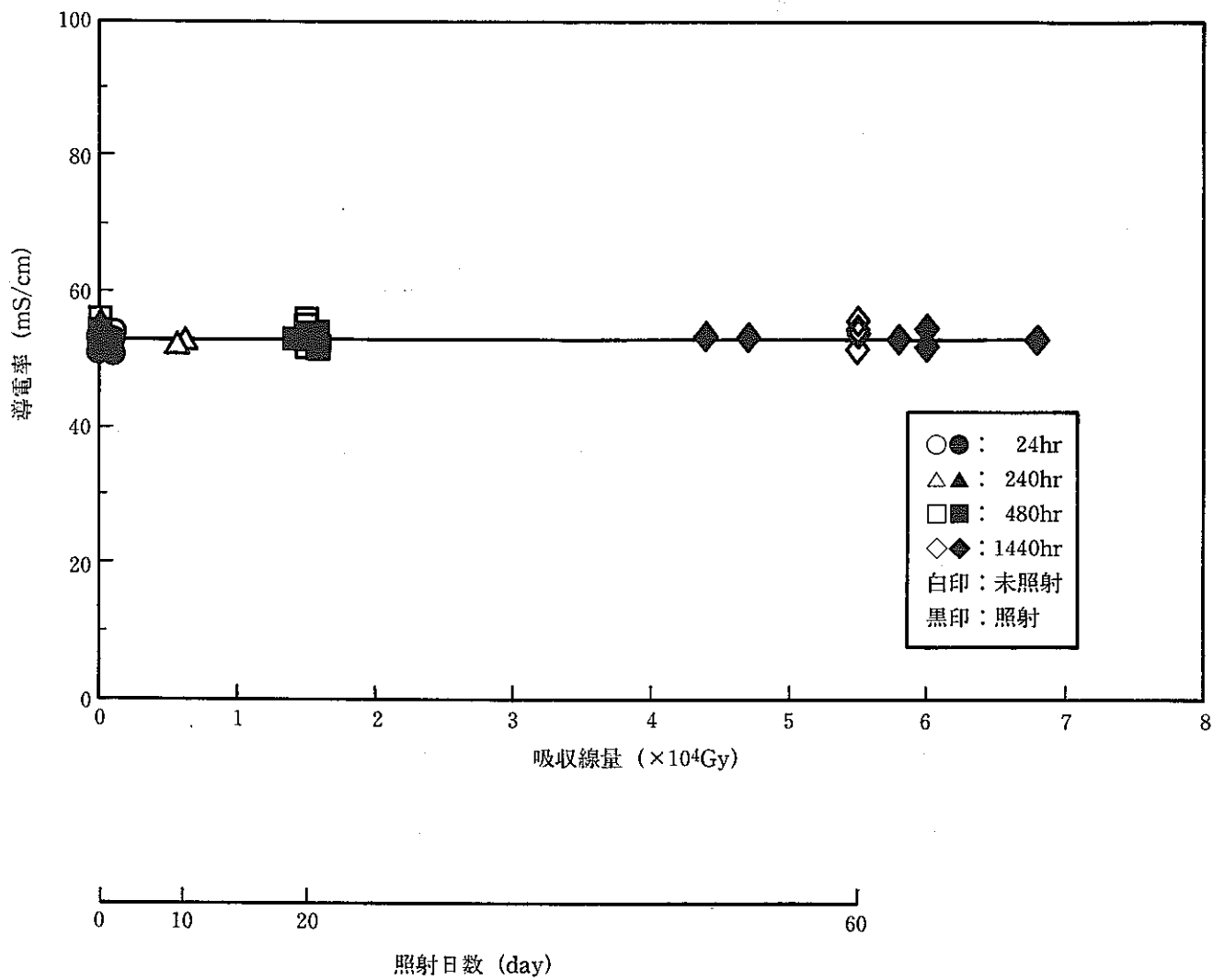


図3-7 吸収線量と導電率の関係

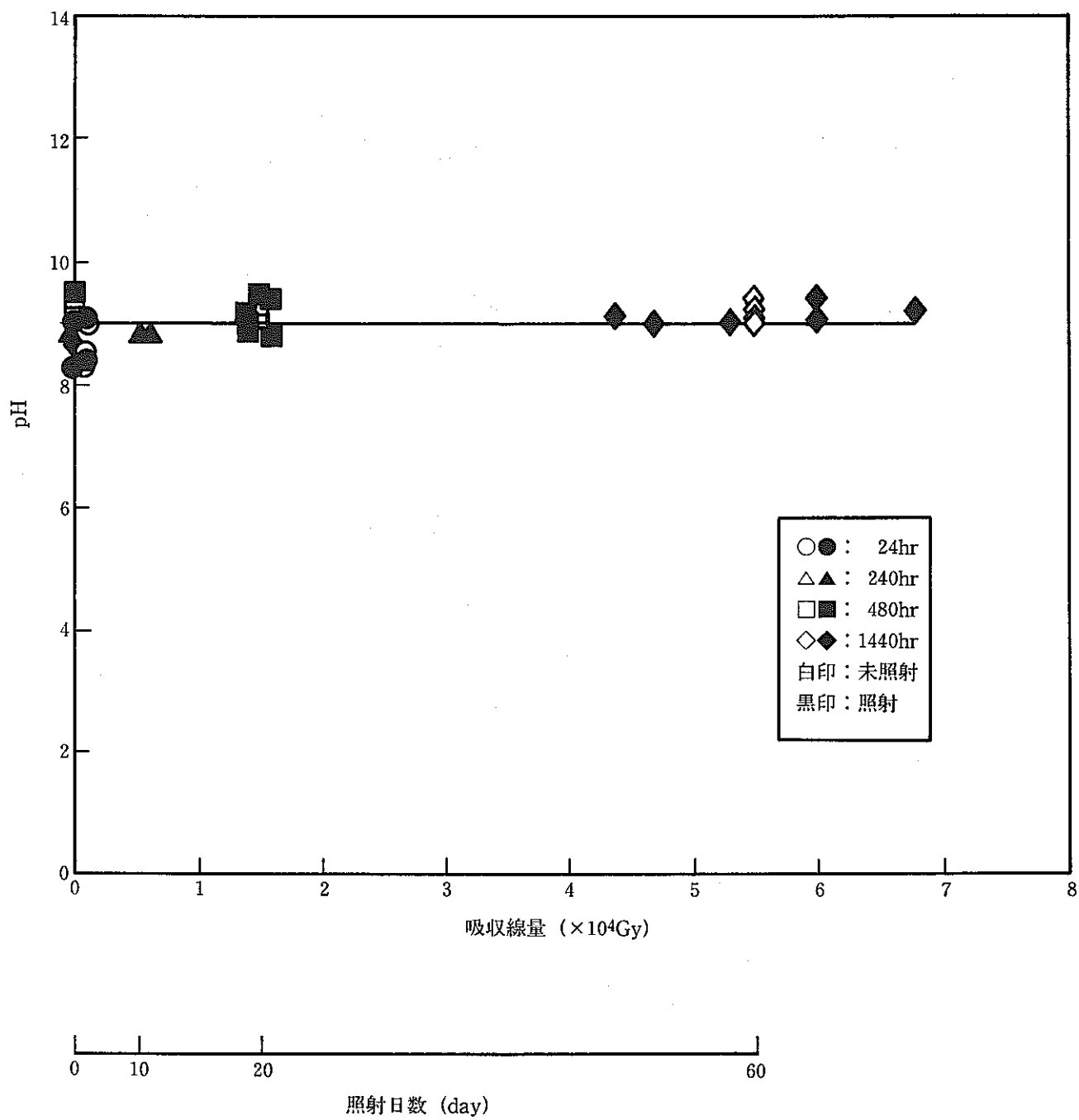


図3-8 吸収線量とpHの関係

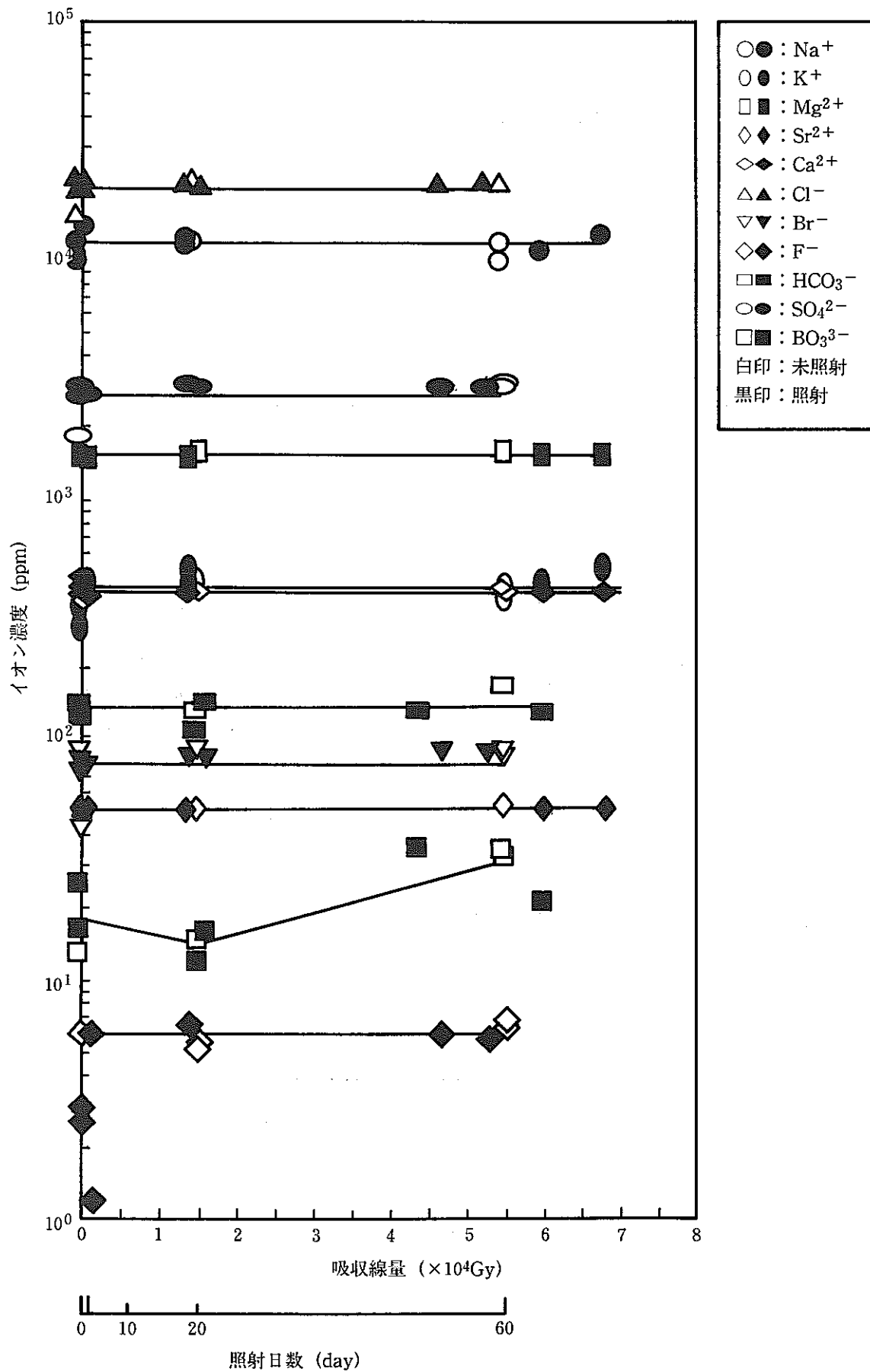


図 3 - 9 吸収線量とイオン濃度の関係

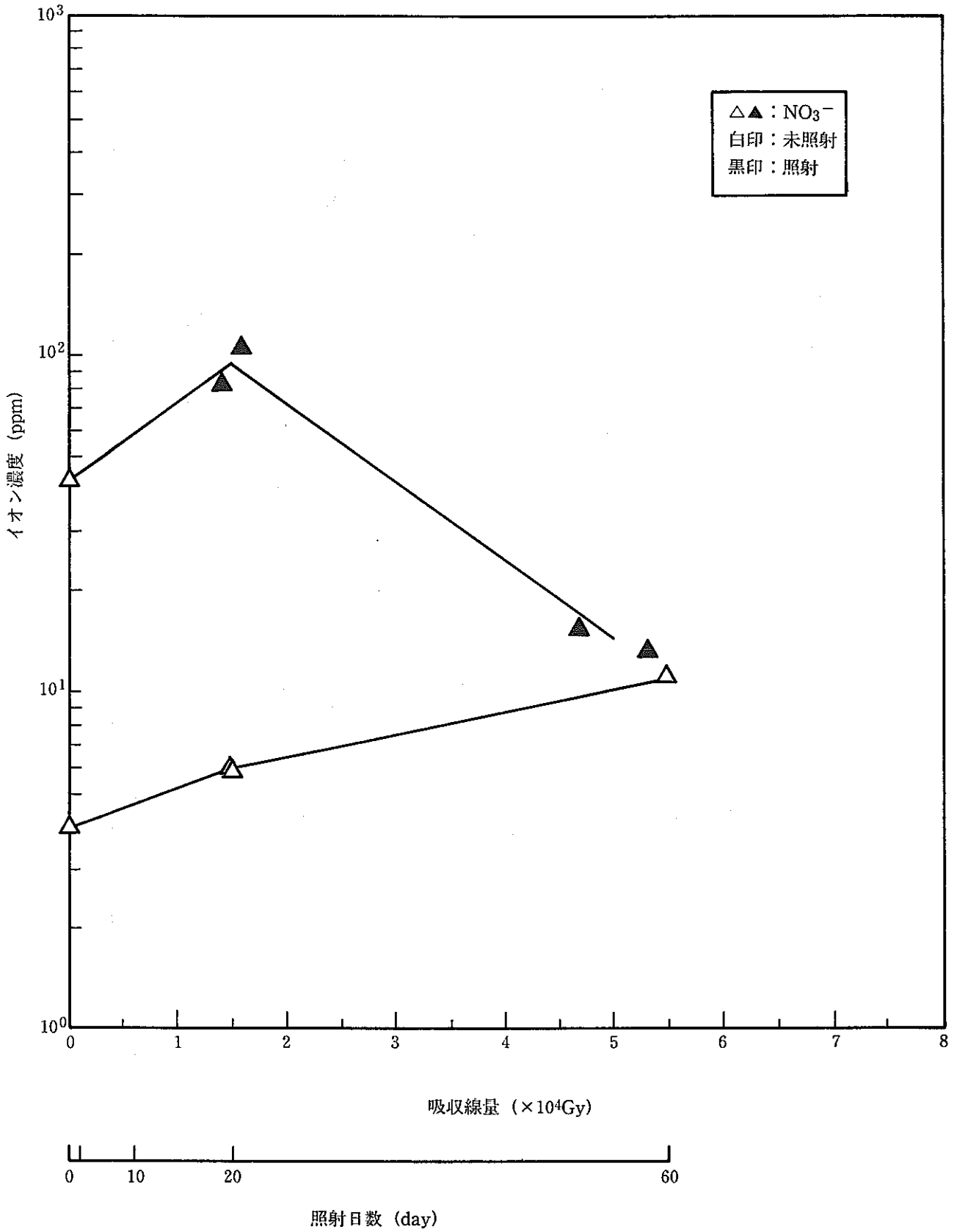


図3-10 吸収線量と硝酸イオン濃度の関係

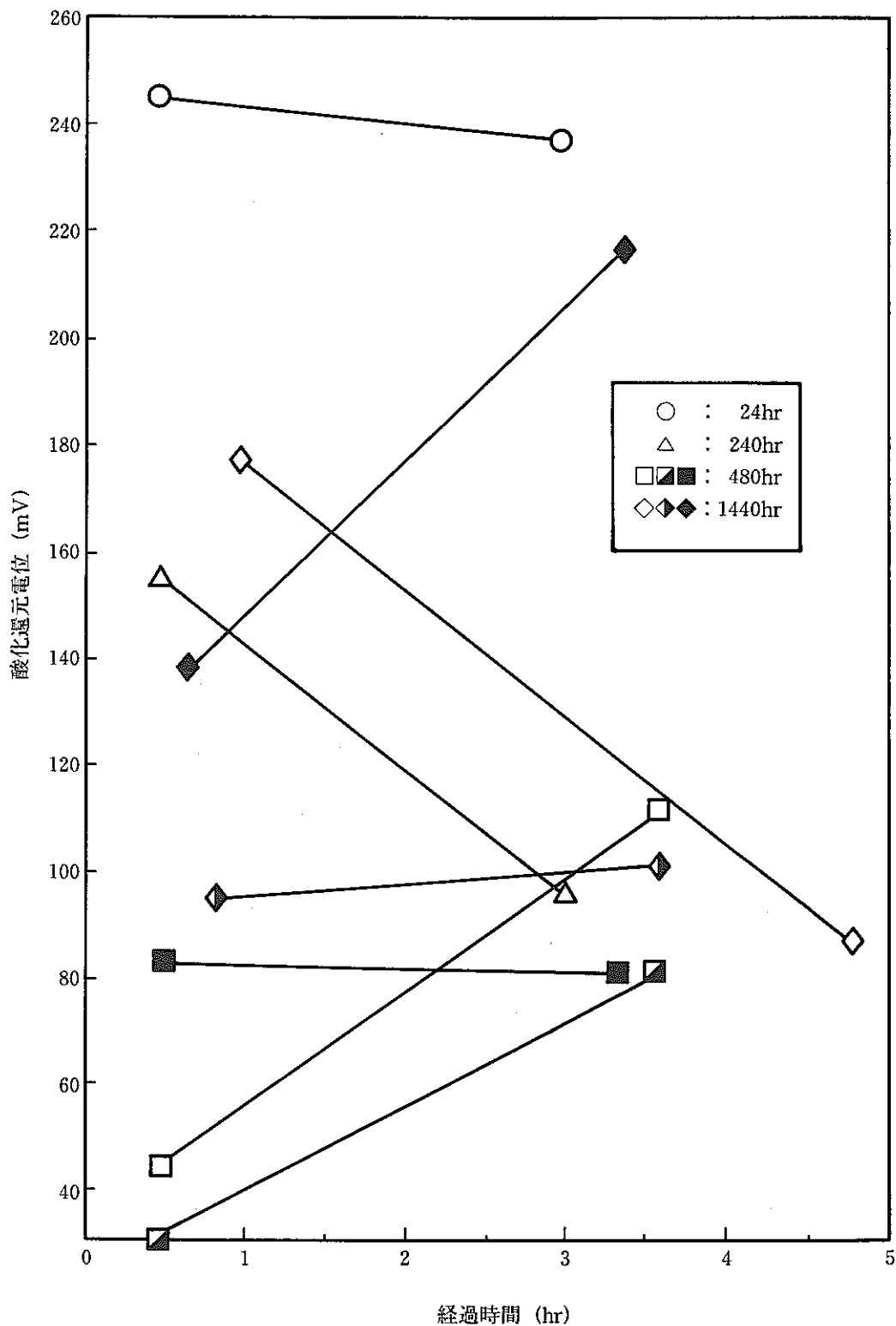


図3-11 経過時間とEhの関係

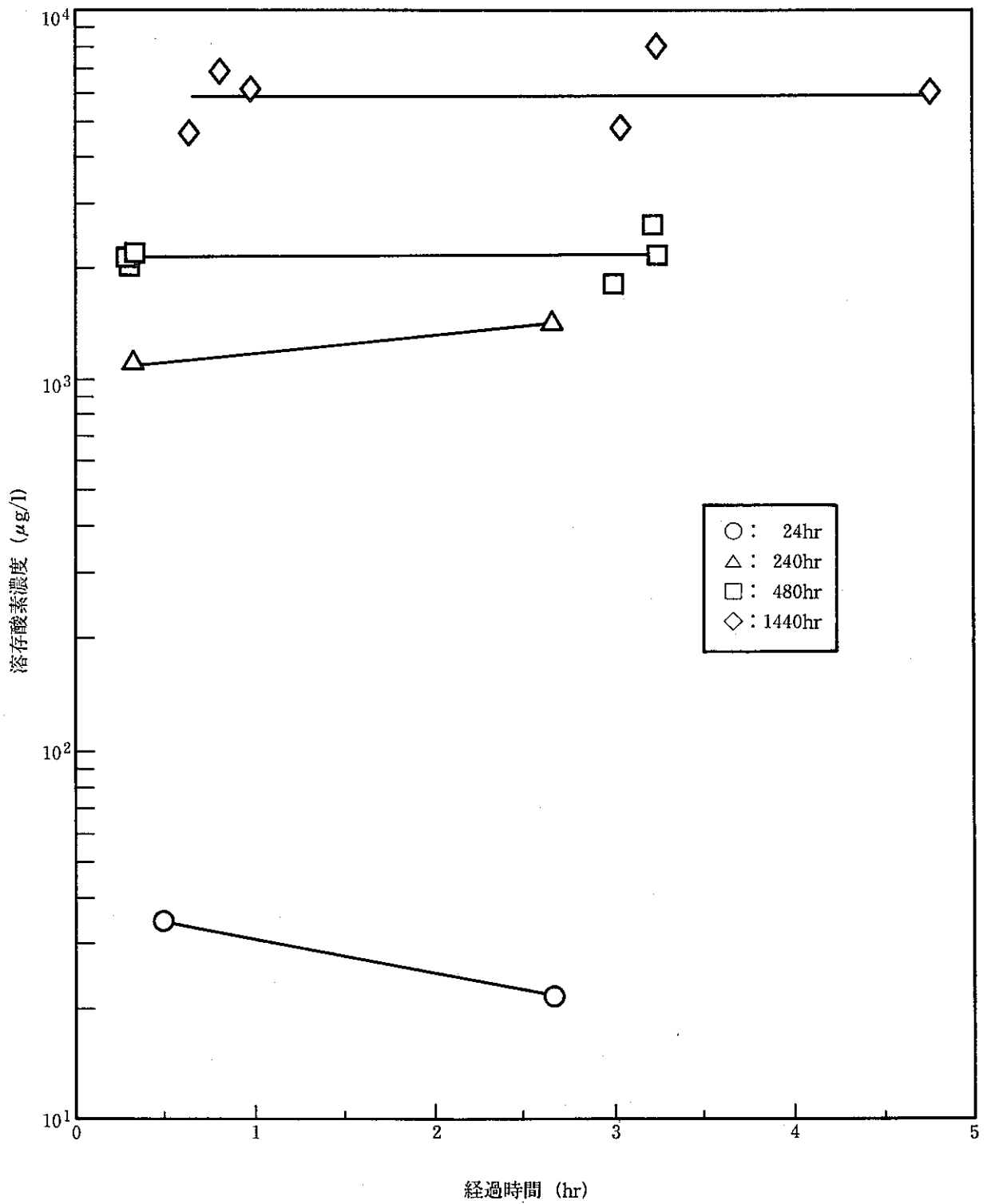


図 3-12 経過時間とD_oの関係

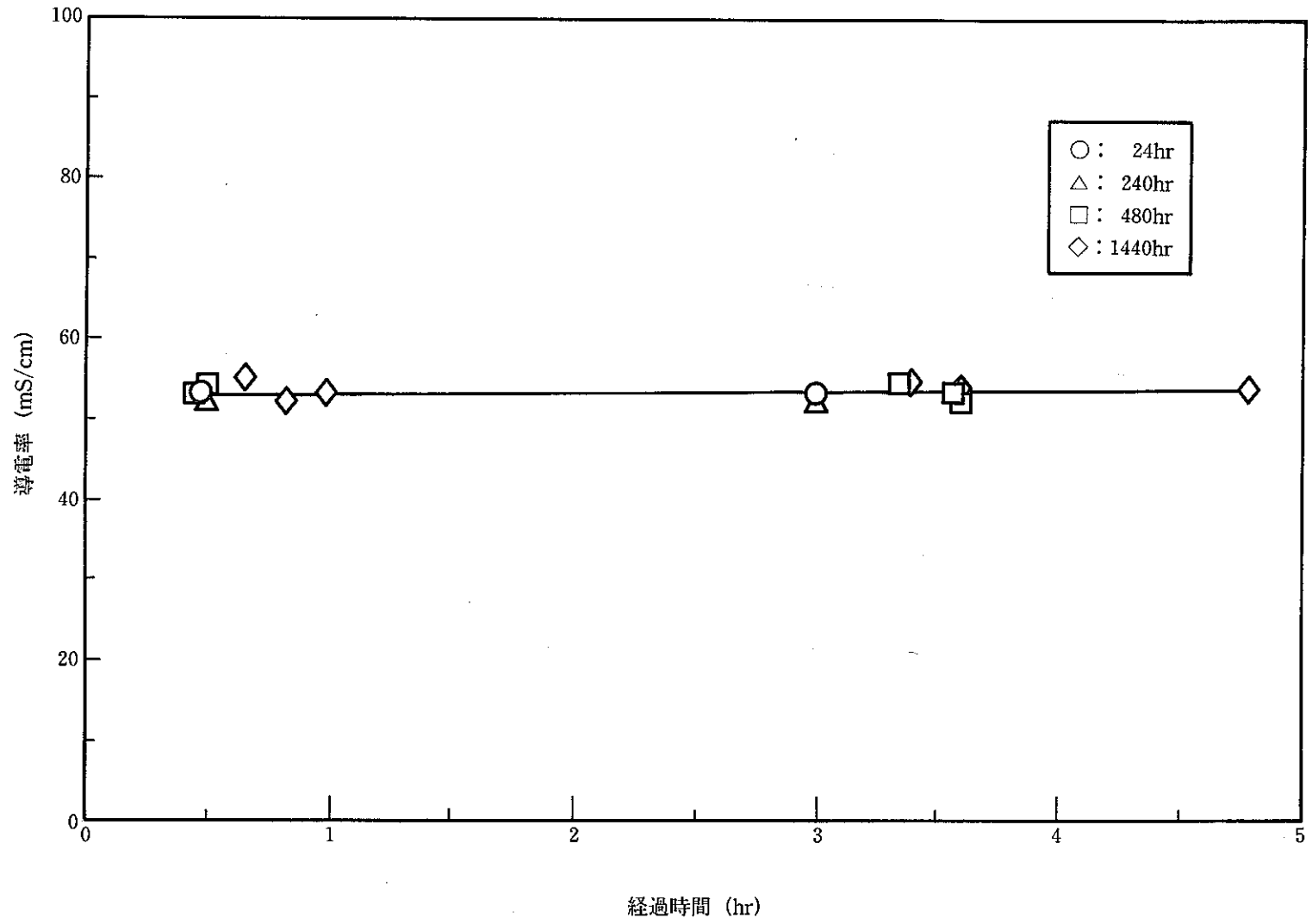


図 3 - 13 経過時間と導電率の関係

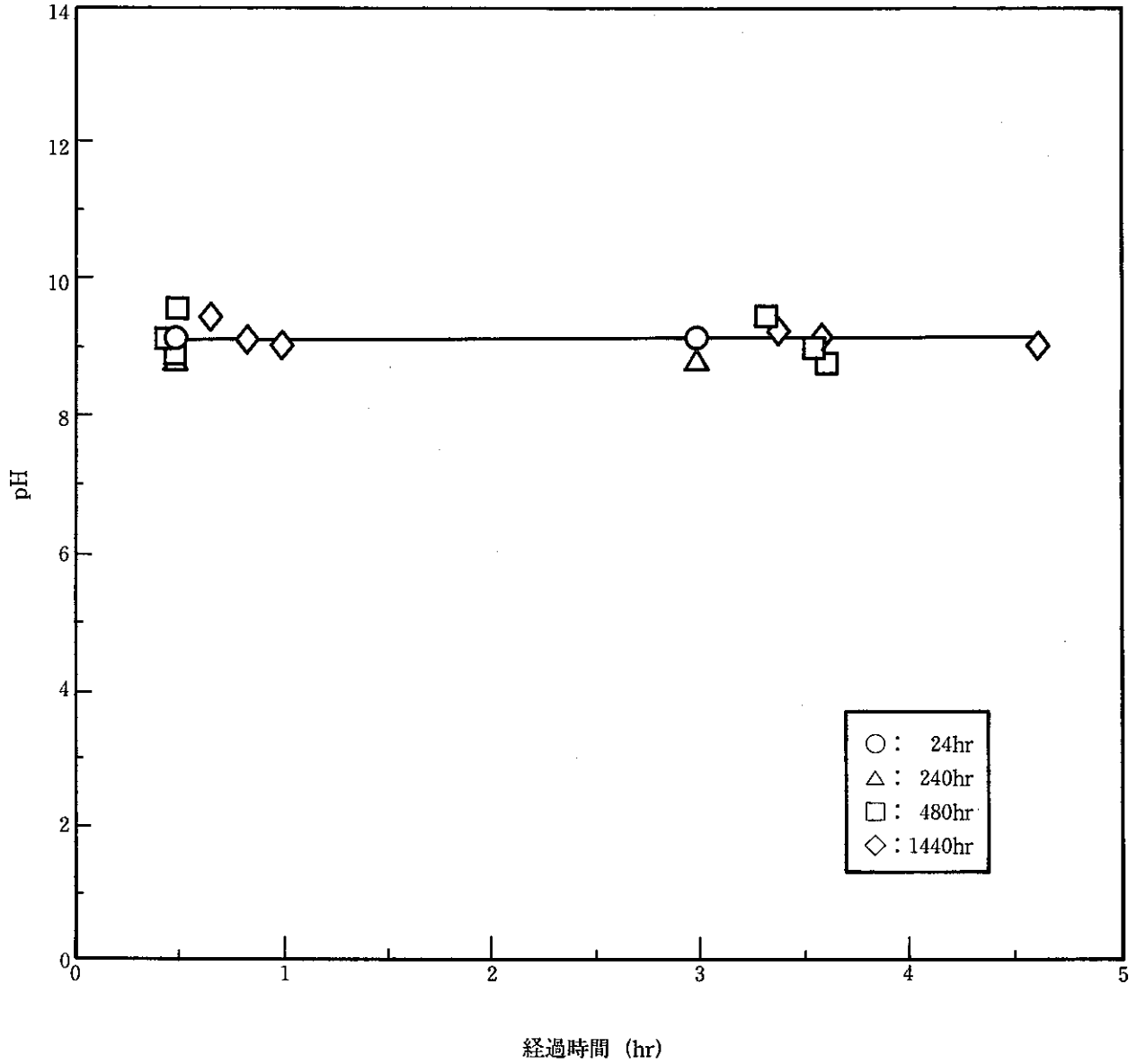


図3-14 経過時間とpHの関係

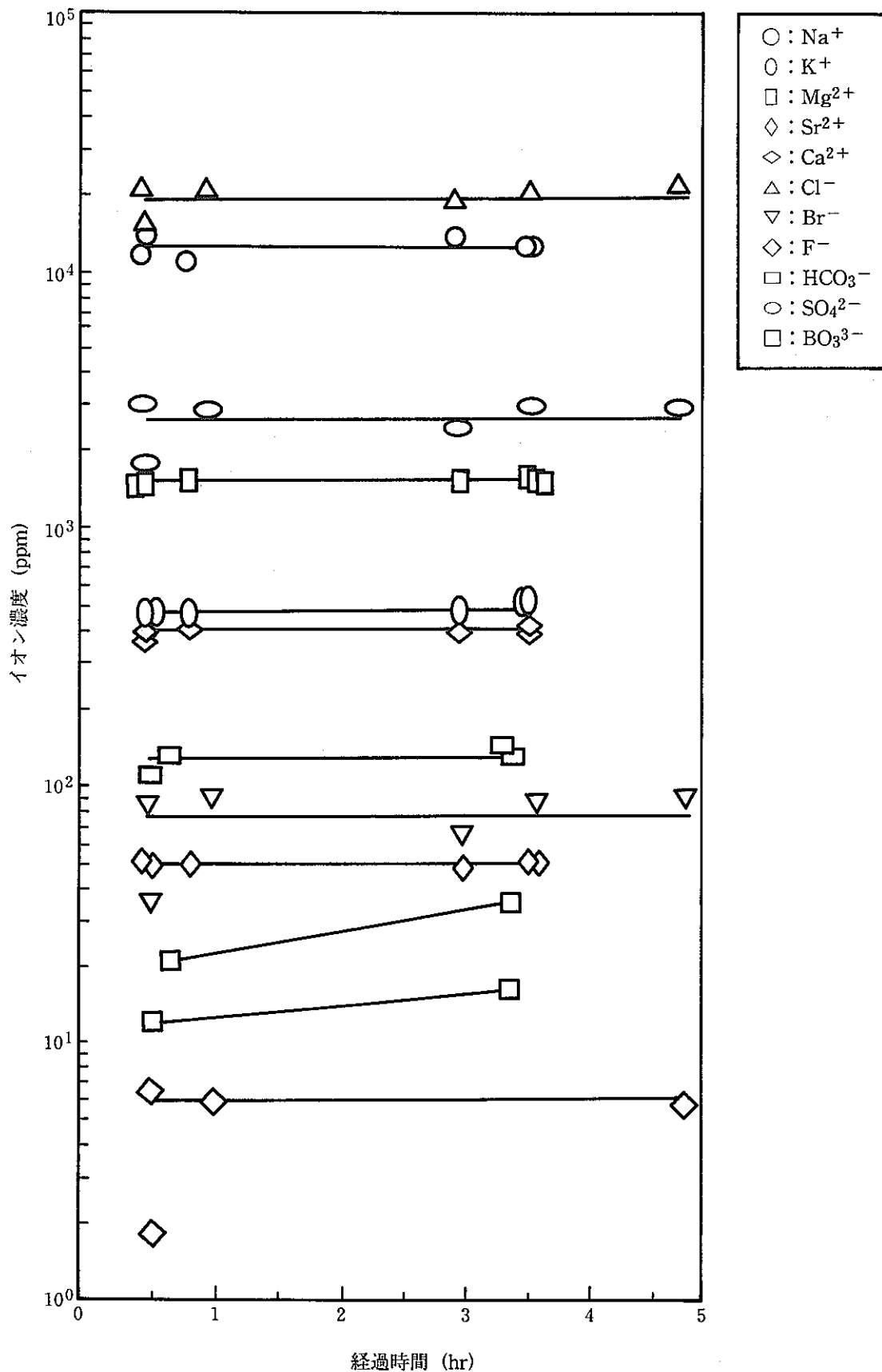


図 3 - 15 経過時間とイオン濃度の関係

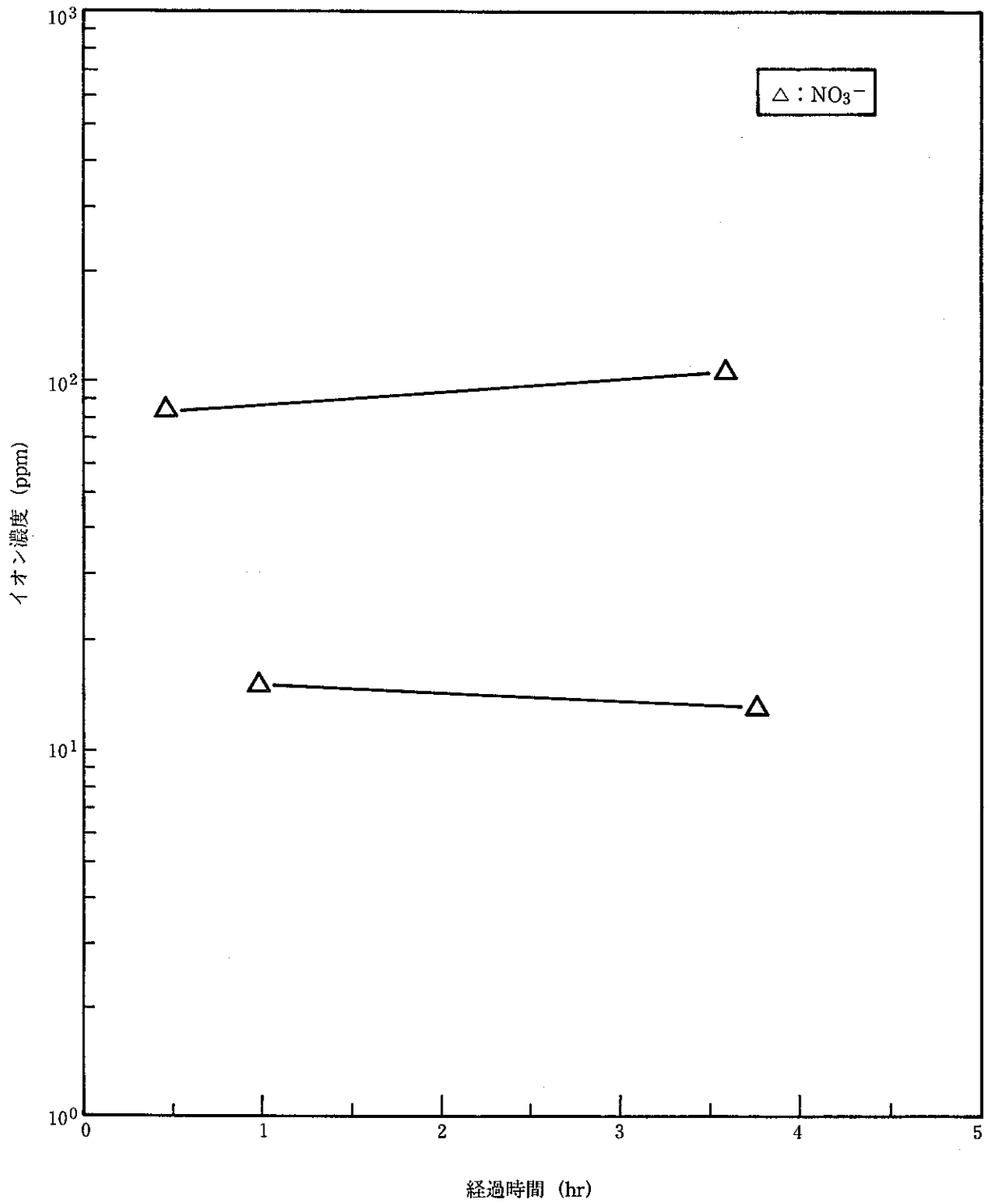


図 3 - 16 経過時間と硝酸イオン濃度の関係

付録－1 ブランク試験結果

付表1－1	試験水No.1	57
付表1－2	試験水No.2	57
付表1－3	試験水No.3	58
付表1－4	試験水No.4	58

付表 1 - 1 試験水No. 1

設定温度：15~25 (°C)
バブリング：無し

脱気時間	0:00	2:28	19:42	21:21	23:38	25:26	26:53	43:43	45:14	47:26	50:21	51:38
溶存酸素濃度 (µg/l)	3760	728	60.1	24.3	8.71	4.27	2.60	2.02	2.10	3.12	1.57	1.06
酸化還元電位 (mV)	238	223	221	220	219	219	206	220	219	215	205	188
pH	8.155	8.242	8.465	8.460	8.487	8.502	8.500	8.605	8.623	8.630	8.626	8.613
導電率 (mS/cm)	50.2	50.2	50.5	50.5	50.5	50.7	50.6	52.9	51.8	52.3	51.8	51.7
液温 (°C)	20.9	24.3	19.3	20.8	22.0	23.4	23.8	15.4	18.3	20.4	22.6	23.4
カブホウガス内温度 (°C)	25.5	24.3	20.9	22.1	23.2	24.4	24.2	19.0	21.1	22.1	22.6	24.7
カブホウガス内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付表 1 - 2 試験水No. 2

設定温度：15~25 (°C)
バブリング：有り

脱気時間	0:00	1:52	19:02	20:49	23:02	24:52	26:30	43:19	44:52	47:00	49:07	50:29
溶存酸素濃度 (µg/l)	4080	21.0	14.25	6.34	2.63	2.55	1.64	3.00	1.00	4.45	2.48	0.96
酸化還元電位 (mV)	238	238	225	219	216	216	210	222	216	226	217	213
pH	8.165	8.544	8.741	8.696	8.682	8.647	8.676	8.709	8.742	8.751	8.723	8.706
導電率 (mS/cm)	50.3	50.1	52.0	50.2	51.7	51.1	51.1	51.8	51.2	51.1	50.6	51.2
液温 (°C)	21.3	24.3	18.3	21.7	22.2	24.1	24.8	15.0	18.8	20.4	23.1	24.6
カブホウガス内温度 (°C)	26.1	25.9	20.1	21.7	22.5	23.8	24.0	17.4	20.6	21.6	23.3	24.1
カブホウガス内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付表 1 - 3 試験水No. 3

設定温度: 23~35 (°C)
バブリング: 無し

脱気時間	0:00	1:40	4:01	5:33	7:23	24:02	25:43	28:02	29:42	30:52
溶存酸素濃度 (µg/l)	638	330	174	83.0	25.7	0.78	0.67	0.39	0.84	0.52
酸化還元電位 (mV)	219	195	195	190	190	205	192	198	202	196
pH	8.432	8.420	8.439	8.409	8.385	8.604	8.508	8.574	8.577	8.557
導電率 (mS/cm)	50.6	50.4	50.1	50.5	50.5	51.9	50.7	51.2	50.0	50.2
液温 (°C)	22.1	24.6	25.7	26.6	27.1	22.9	34.6	30.5	29.1	28.6
フローホウ酸内温度 (°C)	24.5	26.1	26.6	26.9	26.9	26.6	36.9	28.6	28.1	27.2
フローホウ酸内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付表 1 - 4 試験水No. 4

設定温度: 23~35 (°C)
バブリング: 無し

脱気時間	0:00	1:36	4:03	5:36	7:21	23:50	24:27	27:05	28:40	29:45
溶存酸素濃度 (µg/l)	824	537	214	109.9	48.3	0.57	0.47	0.55	0.76	0.20
酸化還元電位 (mV)	211	209	194	190	189	199	184	195	191	176
pH	8.423	8.415	8.447	8.444	8.438	8.617	8.577	8.590	8.607	8.614
導電率 (mS/cm)	50.6	50.8	50.4	51.1	50.4	52.7	51.7	51.6	51.8	51.1
液温 (°C)	22.8	24.0	25.3	26.1	27.3	23.0	31.1	29.2	29.0	28.5
フローホウ酸内温度 (°C)	25.3	26.6	27.0	27.2	27.0	27.4	35.4	28.6	27.9	27.2
フローホウ酸内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付録－2 照射試験結果

付表2－1	24時間陰イオン照射試験1	60
付表2－2	24時間陰イオン照射試験2	61
付表2－3	24時間陽イオン照射試験	62
付表2－4	10日間陰イオン照射試験	63
付表2－5	20日間陰イオン照射試験	64
付表2－6	20日間陽イオン照射試験	65
付表2－7	20日間炭酸イオン照射試験	66
付表2－8	60日間陰イオン照射試験	67
付表2－9	60日間陽イオン照射試験	68
付表2－10	60日間炭酸イオン照射試験	69

付表 2 - 1 24時間陰イオン照射試験 1

		照射前	照 射 後		照 射 後	
		———	1 - A	1 - B	2 - A	2 - B
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	15.7	26	15.7	6.3	4.91
	酸化還元電位 (mV)	238	215	215	217	219
	pH	8.277	8.383	8.277	8.324	8.462
	導電率 (mS/c)	51.5	51.3	51.5	51.6	51.2
	液温 ($^{\circ}\text{C}$)	22.0	23.3	22.0	21.39	21.7
	G・B内温度 ($^{\circ}\text{C}$)	24.7	25.1	24.7	25.0	23.6
	G・B内酸素濃度 (%)	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
グ ロ ー ボ ッ ク ス 外	塩素イオン(ppm)	19385	19089	19385	19743	20268
	硫酸イオン(ppm)	2619	2589	2619	2755	2688
	臭素イオン(ppm)	75	76	75	82	79
	フッ素イオン(ppm)	2.6	1.2	2.6	検出されず	検出されず
	予想吸収線量(Gy)	———	2.4×10^3	2.4×10^3	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	———	1.1×10^3	1.3×10^3	測定範囲外	測定範囲外
	備 考					

付表 2 - 2 24時間陰イオン照射試験 2

		照射前	照 射 後	
		—————	3-A	3-B
	サンプル	—————	3-A	3-B
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	9.39	74.6	59.6
	酸化還元電位 (mV)	46	34	29
	pH	8.783	8.744	8.719
	導電率 (mS/c)	51.4	51.7	51.9
	液温 ($^{\circ}\text{C}$)	22.3	21.3	22.7
	G・B内温度 ($^{\circ}\text{C}$)	25.3	24.9	25.5
	G・B内酸素濃度 (%)	0.01	0.00	0.00
グ ロ ー ボ ッ ク ス 外	塩素イオン(ppm)	19340	19792	22873
	硫酸イオン(ppm)	2764	2902	3790
	臭素イオン(ppm)	164	84	106
	フッ素イオン(ppm)	検出されず	検出されず	検出されず
	予想吸収線量(Gy)	—————	2.4×10^3	2.4×10^3
	測定吸収線量(Gy)	—————	1.0×10^3	1.2×10^3
	備 考			

付表 2 - 3 24時間陽イオン照射試験

		照射前	照 射 後		未照射前	未 照 射 後	
サンプル		——	㉔	㉕	——	㉔	㉕
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度 (μg/l)	3.14	34.6	21.7	7.4	35.0	3.45
	酸化還元電位 (mV)	243	245	237	247	246	251
	pH	9.104	9.107	9.070	9.043	9.056	9.025
	導電率 (mS/c)	54.1	53.2	53.4	54.0	53.5	53.8
	液温 (°C)	18.7	17.5	20.4	17.1	18.3	20.7
	G・B内温度 (°C)	21.6	21.5	23.0	19.6	22.3	22.8
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 外	ナトリウムイオン(ppm)	11738	13610	13762	11547	11674	13404
	カリウムイオン(ppm)	444	444	463	371	431	435
	マグネシウムイオン (ppm)	1449	1494	1479	1449	1462	1507
	カルシウムイオン (ppm)	380	399	393	380	381	396
	ストロンチウムイオン (ppm)	48	50	48	48	49	51
	予想吸収線量(Gy)	——	2.4×10^3	2.4×10^3	——	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	——	1.2×10^3	1.2×10^3	——	測定範囲外	測定範囲外
	備 考						

付表 2 - 4 10日間陰イオン照射試験

		照射前	照 射 後	
		———	⑰	⑱
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度 (mg/ ℓ)	0.121	1.095	1.417
	酸化還元電位 (mV)	249	155	96
	pH	8.800	8.767	8.805
	導電率 (mS/c)	51.5	52.3	52.4
	液温 (°C)	20.0	12.4	13.3
	G・B内温度 (°C)	23.1	13.3	16.7
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00
グ ロ ー ボ ッ ク ス 外	塩素イオン(ppm)	19253	15313	18419
	硫酸イオン(ppm)	2693	1761	2409
	臭素イオン(ppm)	71	46	66
	フッ素イオン(ppm)	3.93	1.83	検出されず
	予想吸収線量(Gy)	———	2.4×10^3	2.4×10^3
	測定吸収線量(Gy)	———	5.5×10^3	6.2×10^3
	備 考			

付表 2 - 5 20日間陰イオン照射試験

	サンプル	照射前	照射後		未照射前	未照射後	
		—	⑱	⑳	—	㉑	㉒
グローブボックス内	溶存酸素濃度	6.75 $\mu\text{g}/\ell$	2.06 mg/ ℓ	2.17 mg/ ℓ	2.10 $\mu\text{g}/\ell$	3.22 $\mu\text{g}/\ell$	5.4 $\mu\text{g}/\ell$
	酸化還元電位 (mV)	265	44	112	196	235	214
	pH	8.916	8.861	8.844	9.104	9.160	9.113
	導電率 (mS/c)	51.4	52.7	52.0	51.8	53.4	51.7
	液温 (°C)	20.2	18.8	23.1	18.9	19.4	23.3
	G・B内温度 (°C)	22.8	22.0	25.3	21.2	25.4	26.3
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
グローブボックス外	塩素イオン(ppm)	21051	20676	20374	21106	21034	20949
	硝酸イオン(ppm)	3034	2997	2902	2953	2955	2983
	臭素イオン(ppm)	84	86	86	92	92	92
	フッ素イオン(ppm)	2.9	6.5	検出されず	6.1	5.3	5.6
	硝酸イオン(ppm)	52	82	105	4.0	5.8	5.9
備考	予想吸収線量(Gy)	—	4.8×10^4	4.8×10^4	—	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	—	1.4×10^4	1.6×10^4	—	測定範囲外	測定範囲外
			泡発生	泡発生			

付表 2 - 6 20日間陽イオン照射試験

		照射前	照 射 後		未照射前	未 照 射 後	
		——	㉑	㉒	——	㉓	㉔
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度	5.33 $\mu\text{g}/\ell$	2.17 mg/ℓ	2.60 mg/ℓ	2.57 $\mu\text{g}/\ell$	1.20 $\mu\text{g}/\ell$	0.75 $\mu\text{g}/\ell$
	酸化還元電位 (mV)	232	30	81	209	187	202
	pH	9.011	9.141	9.034	9.185	9.234	9.186
	導電率 (mS/c)	53.4	53.4	53.0	54.1	53.2	53.4
	液温 ($^{\circ}\text{C}$)	18.0	18.6	21.7	18.2	18.2	22.7
	G・B内温度 ($^{\circ}\text{C}$)	20.6	22.9	24.2	20.6	23.6	25.5
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 外	ナトリウムイオン(ppm)	11228	11677	12446	11039	11159	11300
	カリウムイオン(ppm)	366	442	510	463	454	460
	マグネシウムイオン (ppm)	1514	1497	1496	1534	1559	1545
	カルシウムイオン (ppm)	406	406	410	413	416	416
	ストロンチウムイオン (ppm)	51	51	51	52	51	52
備 考	予想吸収線量(Gy)	——	4.8×10^4	4.8×10^4	——	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	——	1.4×10^4	1.4×10^4	——	測定範囲外	測定範囲外
				泡発生			

付表 2 - 7 20日間炭酸イオン照射試験

		照射前	照 射 後		未照射前	未 照 射 後	
サンプル		——	Ⓐ	Ⓑ	——	㊸	㊹
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度	17.0 μg/ℓ	2.20 mg/ℓ	1.81 mg/ℓ	1.63 μg/ℓ	1.57 μg/ℓ	22.0 μg/ℓ
	酸化還元電位 (mV)	2 2 6	8 3	8 1	2 0 2	2 0 7	2 1 2
	pH	9.532	9.458	9.441	9.239	9.267	9.243
	導電率 (mS/c)	54.4	54.3	53.8	55.9	55.6	54.9
	液温 (°C)	18.2	19.1	21.5	18.8	19.3	22.1
	G・B内温度 (°C)	21.8	22.7	23.9	22.1	23.9	24.1
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GB 外	炭酸水素イオン(ppm)	140	111	140	124	130	131
	ほう酸イオン(ppm)	16	12	16	13	15	12
	予想吸収線量(Gy)	——	4.8×10 ⁴	4.8×10 ⁴	——	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	——	1.5×10 ⁴	1.6×10 ⁴	——	測定範囲外	測定範囲外
	備 考		泡発生	泡発生			

付表 2 - 8 60日間陰イオン照射試験

		照射前	照 射 後		未照射前	未 照 射 後	
		———	⑤	⑥	———	⑪	⑫
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 内	溶存酸素濃度	15.7 $\mu\text{g}/\ell$	6.19 mg/ℓ	6.03 mg/ℓ	11.2 $\mu\text{g}/\ell$	2.32 $\mu\text{g}/\ell$	1.95 $\mu\text{g}/\ell$
	酸化還元電位 (mV)	243	177	87	169	246	237
	pH	8.699	9.040	8.992	8.749	9.081	9.045
	導電率 (mS/c)	52.4	53.2	52.5	52.0	52.3	52.3
	液温 (°C)	16.1	13.3	19.2	22.7	17.4	21.3
	G・B内温度 (°C)	20.8	19.6	23.3	26.1	21.1	26.6
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
グ ロ ー ブ ボ ッ ク ス 外	塩素イオン(ppm)	20139	20816	20792	15335	20405	20615
	硫酸イオン(ppm)	2612	2852	2851	1793	2827	2893
	臭素イオン(ppm)	82	90	89	44	85	92
	フッ素イオン(ppm)	検出されず	5.9	5.7	検出されず	6.6	6.2
	硝酸イオン(ppm)	検出されず	15	13	検出されず	11	11
備 考	予想吸収線量(Gy)	———	1.44×10^5	1.44×10^5	———	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	———	4.7×10^4	5.3×10^4	———	測定範囲外	測定範囲外
			泡発生	泡発生			

付表 2 - 9 60日間陽イオン照射試験

		照射前	照射後		未照射前	未照射後	
サンプル —		————	⑦	⑧	————	⑬	⑭
グローブボックス内	溶存酸素濃度	7.44 μg/ℓ	6.80 mg/ℓ	7.04 mg/ℓ	39.4 μg/ℓ	1.32 μg/ℓ	1.64 μg/ℓ
	酸化還元電位 (mV)	231	91	101	234	226	226
	pH	8.799	9.111	9.075	8.984	9.271	9.243
	導電率 (mS/c)	53.2	52.4	52.7	54.3	55.5	54.2
	液温 (°C)	21.4	19.0	22.3	18.8	18.8	21.7
	G・B内温度 (°C)	24.0	24.2	24.5	22.6	22.6	24.2
	G・B内酸素濃度 (%)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
グローブボックス外	ナトリウムイオン(ppm)	10339	11121	12384	12236	10084	11585
	カリウムイオン(ppm)	300	459	516	395	397	429
	マグネシウムイオン(ppm)	1523	1509	1515	1564	1536	1547
	カルシウムイオン (ppm)	479	405	405	431	412	418
	ストロンチウムイオン (ppm)	51	51	51	53	52	53
備考	予想吸収線量(Gy)	————	1.44×10 ⁵	1.44×10 ⁵	————	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	————	6.0×10 ⁴	6.8×10 ⁴	————	測定範囲外	測定範囲外
			泡発生	泡発生 Do測定直後 10.00mg/l		Do測定直後 0.00 μg/l	Do測定直後 0.00 μg/l

付表 2-10 60日間炭酸イオン照射試験

		照射前	照射後		未照射前	未照射後	
サンプル		——	⑨	⑩	——	⑮	⑯
グローブボックス内	溶存酸素濃度	6.23 μg/l	4.69 mg/l	4.85 mg/l	19.6 μg/l	2.16 μg/l	0.63 μg/l
	酸化還元電位 (mV)	234	138	213	225	212	216
	pH	8.896	9.430	9.153	8.982	9.277	9.241
	導電率 (mS/c)	54.3	54.6	54.1	54.9	54.5	54.8
	液温 (°C)	22.6	19.9	22.7	19.8	19.4	22.3
	G・B内温度 (°C)	25.4	24.6	25.4	24.0	24.4	25.1
	G・B内酸素濃度 (%)	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
GB外	炭酸水素イオン(ppm)	125	127	130	希釈ミス	168	166
	ほう酸イオン(ppm)	25	21	35	希釈ミス	34	33
	予想吸収線量(Gy)	——	1.44×10 ⁵	1.44×10 ⁵	——	バックグラウンド	バックグラウンド
	測定吸収線量(Gy)	——	6.0×10 ⁴	4.4×10 ⁴	——	測定範囲外	測定範囲外
	備 考		泡発生 Do測定直後 9.45mg/l	泡発生 Do測定直後 8.37mg/l		Do測定直後 0.00 μg/l	Do測定直後 0.00 μg/l