



JCO 臨界事故の終息作業

JCO Criticality Accident Termination Operation

金盛 正至

Masashi KANAMORI

原子力緊急時支援・研修センター

Nuclear Emergency Assistance and Training Center

March 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

ＪＣＯ臨界事故の終息作業

日本原子力研究開発機構
原子力緊急時支援・研修センター
金盛 正至

(2009年12月18日受理)

1999年9月30日10時35分頃、茨城県東海村にある核燃料加工会社(株)ジェーシーオー(以下、「ＪＣＯ」という。)において臨界事故が発生した。

本年(2009年)は、この事故から丸10年にあたる。当時、筆者は旧核燃料サイクル開発機構東海事業所の安全管理部安全対策課長であり、国の防災対策の専門家として、ＪＣＯサイト内での臨界終息作業に携わった。本報告書は、2001年のＪＣＯ臨界事故の終息の経緯について水戸地裁での証言を基に整理したものである。本年は、臨界事故から10年にあたり、事故を風化させてはならないという想いと同時に、これらの事故終息に係る作業に関する内容が今後の原子力防災を考える上で何らかの役に立つものと考え、その後いただいたコメント箇所を修正の上改めて公開報告書として刊行することとした。

JCO Criticality Accident Termination Operation

Masashi KANAMORI

Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Japan Atomic Energy Agency
Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken

(Received December 18, 2009)

The JCO criticality accident occurred at about 10:35 A.M. on September 30, 1999 in Tokai-mura, Ibaraki Prefecture, Japan.

This year (2009) is full 10 years from that truly unfortunate accident. I was then the manager of safety section of Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) Tokai Works, and engaged in the operation of the criticality accident termination in JCO sites as an expert of the disaster prevention of national government. This report is summarized the circumstances surrounding termination of the JCO criticality accident based on testimony in the Mito District Court in 2001. Since then, comments have been received and I rewritten in this tenth year with my thought not to have to forget the accident.

We hope that this report will be useful in some way in preventing nuclear disaster in the future.

Keywords: JCO Criticality Accident, Criticality, Neutron, Exposure

目 次

1. はじめに	1
2. 事故発生	1
3. JCO サイト内の状況の把握と退避	3
4. K 所長との打ち合わせ	4
5. 事故対策上の課題	6
6. 具体的な作業計画の立案	7
7. 放射線測定状況	8
8. 中性子線測定	8
9. 周辺環境の線量の把握	9
10. JCO 社員等のサイト内からの退避 (18:30 頃)	9
11. 石神コミュニティーセンター (19:30 頃)	10
12. 現地政府事故対策本部 (20:30 頃)	11
13. JCO サイト内での臨界終息作業	13
13.1 作業工程の検討	13
13.2 作業の目的	13
13.3 作業項目	13
13.4 具体的作業手順の検討	14
13.5 作業者の確保	15
13.6 防護装備の検討	15
13.7 遮蔽対策の考慮	16
13.8 原研 T 副所長、K 氏等が到着	16
13.9 放射線測定と管理	16
13.10 住田現地政府本部長代理等の到着	17
13.11 作業班の構成	17
13.12 作業指示と管理	17
13.13 作業開始	18
13.14 ほう酸水注入作業	21
14. 周辺環境への放出放射能の評価	22
15. 土嚢積み	23
16. おわりに	25
参考文献	26

Contents

1. Introduction	1
2. Occurrence of the accident	1
3. Assessment of the situation at the JCO site and evacuation	3
4. Meeting with General Manager of JCO	4
5. Challenges in addressing the accident	6
6. Specific planning of work project	7
7. Measuring the conditions of radiation	8
8. Measuring neutrons	8
9. Comprehension of dosage in the ambient environment	9
10. Evacuating JCO employees and others from the site (around 06:30 pm)	9
11. Ishigami Community Center (around 07:30 pm)	10
12. Local Government Task Force for the accident (around 08:30 pm)	11
13. Criticality termination operation at the JCO site	13
13.1 Examination of work process	13
13.2 Purpose of work	13
13.3 Work items	13
13.4 Examination of specific work procedure	14
13.5 Securing workers	15
13.6 Examination of protective equipment	15
13.7 Consideration of shielding measures	16
13.8 Arrival of deputy manager of JAERI	16
13.9 Measurement and control of radiation	16
13.10 Arrival of Nuclear Safety Commission members and others	17
13.11 Constructing the working crew	17
13.12 Instruction and control of work	17
13.13 Initiation of work	18
13.14 Infusion operation of boric acid solution	21
14. Assessment of radiation emitted to the ambient environment	22
15. Sandbagging	23
16. Conclusion	25
References	26

1. はじめに

1999年9月30日10時35分頃、茨城県東海村にある核燃料加工会社(株)ジェーシーオー(以下、「JCO」という。)において臨界事故が発生した。

本年(2009年)は、この事故から丸10年にあたる。当時、筆者は旧核燃料サイクル開発機構東海事業所の保安管理部安全対策課長であり、国の防災対策の専門家として、JCOサイト内での臨界終息作業を行った。本報告書は、2001年のJCO臨界事故の終息の経緯について水戸地裁での証言を基に整理したものであるが、臨界事故から10年にあたる本年に、事故を風化させてはならないという想いと同時に、臨界事故終息に係る作業に関する内容が今後の原子力防災を考える上で何らかの役に立つものと考え、改めて公開報告書として刊行することとした。

また、本報告書中の組織名等については、当時のままとしている。なお、記述の仕方に一貫性がなくなるので、他の機関、人々の活動等に関する記述については、必要な範囲以外記していない。

この間、住田元原子力安全委員、金川元原子力安全委員、旧科学技術庁関係者、原子力学会JCO事故調査委員会から報告等に関してコメントを頂き、不正確であった部分、追加すべきと感じた部分等を追記し、再度取りまとめたものである。

2. 事故発生

1999年9月30日、JCO臨界事故が発生した日は、昼間は晴れた暖かい日であった。

当日の核燃料サイクル開発機構の動き

12時15分頃、東海村から、JCOで事故発生の情報が入った。JCOで発生した事故に関して、情報収集が進んだ段階で、核燃料サイクル開発機構(以下、「機構」という。)の東海事業所に、事故対策支援本部(以下、「機構支援本部」という。)が設置された。

機構の理事長は、東海事業所に隣接する本社内におり、情報収集をしつつ機構としての対応に備え待機した。理事長に対して、13時30分頃、科学技術庁原子力局から電話にて、事故対策に協力するようとの指示が入り、それに基づき、理事長は東海事業所の機構支援本部に対して他事業所の協力も得て全面的に支援するよう指示をした。

12時30分頃、JCOのK所長からの電話で「放射線の事故が発生したので、放射線の測定器がないので持ってきてもらえないか。放射線測定の人手も不足しているので、できれば測定できる人をつれて、助けにきてもらえないか」との趣旨の依頼

があった。電話の内容からもかなり切迫した様子が伝わってきたので、助けるべきとの判断であったが、すぐ助けにいつでも良いものかどうか検討すべき課題があった。すなわち、自らの事業所の事故でなく、他の事業者の事故に対する支援は、自分たちが放射線被ばくした場合にその被ばくをどう取り扱うのかという問題、誰の指揮命令で仕事をするのかという指揮命令権限の問題等があった。これらについては事業所長等より上のレベルでの判断も必要と考え、部門内での相談を開始するとともに、JCOの所長には、すぐに機構支援本部ができると思うので、正式に本部経由での連絡ももらいたい旨伝え了解された。

機構では、東海事業所内に12時35分、機構支援本部を設置し、臨界事故の専門家、防災対策の専門家、ウラン濃縮等の専門家等による事故の分析、検討を開始した。分析検討の項目は、事故の種類、状況等の検討と今後の支援等の対応のあり方であった。

その後、13時近くに、科学技術庁から専門家の派遣、機材の提供等の依頼があった。

専門家の派遣、援助を行うにあたっては、派遣する者の身分、役割、被ばくした場合の取り扱い等、検討すべき課題もあった。しかし、事態は切迫していたため、緊急時活動を優先し、最低限、あらかじめ災害対策基本法等により定められている国からの防災専門家派遣の依頼に基づき専門家の派遣を実施することとした。本部では、筆者他放射線管理課員等を派遣することとした。なお、筆者は当時、国土庁中央防災会議、科学技術庁の防災環境対策室の派遣専門家として登録されていた。

一方、14時頃には正式に、JCOから機構支援本部を経由して放射線測定機材、放射線測定と臨界安全の専門家派遣等の援助依頼を受けた。

当時、事故に関する情報源としては、国、県、村等からの情報と、NHKテレビのニュース等があったが、最も新しい情報を示していると考えられたNHKテレビのニュース(13:28頃のニュース)では、JCOの東海事業所で事故が発生し、臨界事故の可能性もあるとの報道がされていた。同時に爆発事故の可能性もあるとの報道もあり必ずしもどの情報が正確なものかを厳密に判断できる状況ではなかった。

(村からはJCOの第一報の中に臨界事故の可能性ありと記載されている旨の情報があったことを後で知らされた。)

東海事業所機構支援本部では、招集されたウラン濃縮施設等の専門家、臨界事故の専門家、防災対策の専門家による事故の分析検討が進んでいた。この段階では、国、県、村、派遣した環境モニタリング車及び報道から得られる情報を総合すると、事故の種類については「臨界の可能性がある」という情報と「爆発があったらしい」との情報とがあった。また、ガンマ線測定により「放射線が引き続き放出されている」ことがわかっていた。機構支援本部では、これらの情報をもとに、過去のウラ

ン施設の事故事例及びウラン施設の特徴を比較し分析していた。

事故に関する情報としては、爆発事故らしいという情報もあること、JCOのようなウラン加工施設においては臨界安全対策技術が確立していて、通常の運転がなされていれば臨界事故の可能性は非常に低いことが判断材料の一つとなった。また、ウラン施設の事故事例から推測すると、硝酸ウラニルに関連する臨界事故はあるものの、 UF_6 の化学爆発等の発生事例が多く報告されていることが分かっていた。それに比べウラン施設の臨界事故はほとんど報告されていなかった。以上のような検討の結果、専門家の大半の認識は、臨界事故の可能性よりも、 UF_6 による化学爆発の可能性の方が高いというものだった。

ガンマ線の放射線が引き続き測定されていることについても、化学爆発が発生した場合であっても放射性物質の含有量と飛散の仕方により、そういう事態も想定されるとの判断であった。いずれにしても、この段階では、早急に放射線状況の確認を始めとして、化学物質の状況等の事実関係を早急に確認する必要があるというのが集まった専門家の一致した意見だった。

このため、まず、外部から法律的問題等がなく測定でき、周辺住民のためにもなる放射線測定として、環境測定が重要との結論となり、安全管理部から13時40分頃環境モニタリングのためのモニタリングカーを出動させた。

また、これらの検討結果及び国からの専門家派遣の要請等を踏まえ、JCOサイト(敷地)内の放射線状況を測定するとともに、事故の状況を把握するため専門家をJCOに派遣することとなった。

14時20分頃、酸素ボンベ呼吸保護具、アルファ線サーベイメータ、 $\beta\gamma$ 線サーベイメータ、電離箱を車に積み込み、国の防災専門家として筆者、この他に放射線管理第2課の放管員3名が事故現場に向かった。

3. JCOサイト内の状況の把握と退避

車でJCOサイトに向かったが、国道6号線に着くまでの駆上線はすいていたものの、JCOサイト前の国道6号線は、すでに茨城県警察の交通規制がなされていたこともあり渋滞していた。さらに進むと、JCOサイトを挟んで両側に警察官がいてほとんど動かない状況であった。機構から通常、車では5分で進めるところが、30分位かかるような状況だった。このため、JCOサイト手前で左折し、サイト横から入れるかどうか、県道から迂回することとした。結果的には、サイト横から入ることはできなかった。しかし、この間JCOサイトの周辺を右回りに一周して、何点かをガンマ線により、放射線量の測定を行った。県道側は交通規制で車は全く通行していなかったが、線量は高い点では、ガンマ線で0.6mSv程度を示していた。再度国道6号線を南下してJCOサイトに入ることにした。

14時半過ぎ、JCOサイトに到着すると、サイト周辺は警察、報道関係者等であった返している状況だった。入域のための手続きを済ませ、サイト内に入り、事務棟に向かうと、内部では女性も含む社員等の人々が100人以上(JCO資料によると123名)も事業所内から退避できずにいて、また何をどうしたらいいのか分からない状況で大変混乱していた。

JCOサイト内の事務棟で、その場にいたJCOの関係者に事故の現状について確認したが、その時点で事故現場の状況(事故の種類、現在の状況)がどのようなになっているかは不明で、その場におけるガンマ線の放射線量は分かっているものの、中性子線等その他の放射線の状況は不明で、その他の放射能による汚染状況も含め、総合的に事故の現状がどういう状況なのかはほとんど分からなかった。そこでまず、事務棟内とその周辺の放射線状況を測定することとし、自らも測定するとともに、同行した放管員に測定を指示した。

ほどなくして、放射線管理のための放管員の第2班目が機構から到着した(この派遣員を含めると総計11名)。

4. K所長との打ち合わせ

引き続き、事務棟1階の居室に行くと、JCOの関係者が集合していた。早速事故状況の説明をK所長から受けることとした。(15:00頃)所長からは、まず事故の状況について判っている範囲を説明してもらうこととした。事故の発生した場所の図面等について確認したが適当なものがないとのことであった。そこで、所長及び関係者からタンクの形状、配管の接続状況等の説明を確認し、手書きで図面を作成した。それがFig.1である(15:00頃)。

この図面と聞き取った内容を、直ちに口頭で機構支援本部、国、地方自治体等に伝達するよう指示(15:00～15:30頃)するとともに、臨界が継続している可能性も否定できないと考えた。情報の伝達は、JCOの事故対策本部を經由して実施するよう依頼した。

所長等の説明によると、当日の作業状況から推測して、事故は沈殿槽というタンクで発生した可能性が高く、沈殿槽に硝酸ウラニル(化学系については(15:40頃)所長からは確認できていなかった)ので始めの段階では図面に記載しなかった)を本来1バッチ分(2kg程度)投入すべきところ、数バッチ分が投入したと考えられるとのことであった。投入量(2kg、16kg U)の数値についてはこの段階では確認できていなかった。所長に確認を依頼した後でこの図面に記入した。事故は、このために発生した臨界事故の可能性のある旨の説明があった。しかしながら本当に臨界事故なのか、あるいは臨界事故だったとしても臨界事故が継続しているか否かは不明であった。

この段階で沈殿槽のだいたいの形状を把握することとなったが、説明によれば直径約 50cm と高さが約 60cm 外部に冷却水を循環させるジャケットがあり、ジャケットの中の冷却水が中性子線の反射材となっている可能性のあることがわかったのみであった。(Fig.1 参照)

所長とのこの時点での話では、臨界事故が継続しているか否かは不明なもの、ガンマ線が高いため、何らかの対策が必要と思うが、対策に関する検討が出来ないとのことだったので、関係する技術者を集め検討を開始する必要があるとの考え方を伝えた。また具体的に臨界の状況把握と臨界事故が継続している場合には、終息等の対策を検討するため、所長に以下の点に関する事実関係について確認を依頼した。1 点目は、外部から冷却水を抜く方法がないかの確認のため、沈殿槽に接続されている配管の有無、2 点目は、使用可能な配管として、アンモニア用の配管(アンモニアライン)と空気供給ラインしかないとのことであった)が使用可能かどうか、3 点目は沈殿槽内のウランの化学形について(15:40 頃所長からは確認できていなかった)が硝酸ウラニルでいいのかどうかであった。このうち、空気供給ラインは、転換試験棟内から操作しないと利用できないとのことであり、アンモニアラインは、外部より供給されていたが、ラインの途中に積算流量計、マニュアルバルブ、電磁弁が存在していることが分かり、この電磁弁を開けるためには、転換試験棟内に進入してバルブスイッチを押してくる必要があり、前述したような危険性があることが分かった。

今後、より詳細な検討が必要となると考えられるため、関連部分について詳細な図面と情報を手配してもらえよう所長に依頼した。(15:30 頃) (Fig. 2)

所長からの話では、プロセスに関する詳細な図面関係は、転換棟に近づかないとのことであった。また、工程図(プロセスフロー図)が見つかったものの最新の図面でない、あるいは施工段階で変わっている可能性があること等の理由で、これらの図面についても、実際の配管が必ずしも配管図面通りになっていない可能性が指摘された。また逆に、中性子吸収剤の注入(アンモニアラインの使用)等について意見交換をし、その結果を図に記入した。

当初 Fig.1 を書いた時点では沈殿槽内のウランの重量は分かっていなかったので空欄にしておき、後で所長から聞いて記入した(いつの段階だったかは明確な記憶がない)。このころ、沈殿槽内のウランの化学形について硝酸ウラニルと判断して良いということになったと思う。

対策についても考えられる方法について、中性子の反射体となっている可能性のある冷却水を抜く、中性子吸収剤を含む水をタンク内に注入する、アンモニアラインの利用について図に記入した。

このファックスが外部関係機関に着いたのは、事故調査委員会報告書には、17 時頃との記載があり、日本原子力研究所(以下「原研」という。)での受信ファックス(18:17 頃)の中に記載がある。情報の発信を依頼してから、実際に着信するまでに相

当の時間を要しているが、JCOの事故対策本部の活動、情報の伝達という意味で当時の状況を考えるとやむを得ない感もあるが、今後にとって重要な反省点と思う。

この段階で今現在、どういう状況にあるかを、より正確につかむ必要があると感じていた。しかしながら、沈殿槽とそのタンクを含む系統に関するそれ以上の活用可能と考えられる情報は、この時点ではこれ以上集めることができなかった。

JCOの事故対策本部の、国、地方自治体等に対する情報伝達体制にも問題があった。JCOから外部への情報発信については、JCOの事故対策本部に情報を集約して外部に伝達することとしていたが、外部からの問合せ、内部に対する指示等が錯綜し混乱している状態をこの段階で改善することは困難に思えた。

また、今後の放射線測定をどのように行っていくか検討するため、JCOの持っている放射線測定器等の情報を確認した。JCOでは、臨界事故の発生はないと考えられていたためであろうか、限られたガンマ線の測定器しかなく、アルファ線、中性子線の測定器もないことがわかった。また、サイト内にいる測定のできる放射線管理課員は2、3名程度であり、放射線状況の把握については、事故発生以降、JCO放射線管理課員が1時間ごとに定点のガンマ線量率のみについて測定を2回実施したこともわかった。(Fig. 3)

放射性状況の把握としては、放射線量率の測定と、空气中放射性物質の測定、表面汚染密度の測定が必要であった。

このため、ガンマ線の測定については、機構の放射線管理課員に測定場所及び方法を周辺住民への影響の把握等の観点から検討、補強し、JCOの放射線管理課員とともに、以後定期的に継続して測定するようにさせるとともに、運んできた測定器等を貸与することとした。Fig. 4には、到着後の第1回目の測定結果を示す。

5. 事故対策上の課題

この段階における事故対策上の課題は、

- ・ 事故状況、放射線状況等の事実関係の把握
- ・ 臨界事故の収束可能性の検討
- ・ サイト周辺の住民退避のための情報発信
- ・ 敷地内に女性を含め100名を超える社員等の身体汚染の把握と退避の検討

であった。

この段階におけるそれぞれの項目に対する対応の考え方は、以下のとおりであった。

事実関係の把握については、事故の状況の把握を行うことは関係者からの聞き取

りには限界が感じられものの引き続き継続することと、現在集められる情報として、放射線状況の把握を行うこと、の2点が重要であった。放射線の強度、変化の状況を正確に把握することは臨界事故の状況を正確に把握することとなると考えられ、今後の作業の基礎となるものであった。

臨界事故の終息についても、事故の現状把握を明確に行った後で速やかに対応すべき課題であった。

サイト周辺の住民の退避についても、国、県、村に対して可能な限り正確な放射線情報を把握し伝えることが重要であった。もう一つ重要だと感じられたのは、敷地内に女性を含め100名を超える社員等の方々が出たので、この方々の中で今後の事故の終息に関係のない方々、特に女性の方々については、退避について、緊急にしかるべき措置を講じることであった。

6. 具体的な作業計画の立案

K所長には、これらの解決すべき課題について、どのように取り組む考え方かをお聞きしたが、明確な考え方があるわけではなかった。このため、4点の課題に対して、上記考え方を説明するとともに、各人の身体汚染を確認し、退避させること等の具体的活動をするよう提案した。これに対して、所長からは提案の方向で進めて欲しいとのことであった。

この後、所長が外部からかかってくる連絡、プレス対応その他の外部関係者からの対応作業に忙しそうであったため、作業を効率的に実施するため、所長にJCO側の技術的窓口になる人の推薦をお願いした。その結果、3名の技術者（以下、「JCO JCO技術者」という。）を推薦いただいた。

所長は、今後技術的な話についてはJCO技術者に言って欲しいとのことであった。

所長との話に基づいて、JCO技術者に相談したところ、科学技術庁の運転管理専門官（以下、「専門官」という。）に相談してはどうかとのことであった。

筆者自身は、国の防災専門家として派遣された立場であったが、JCO技術者の言うとおりに科学技術庁の専門官に技術的にとるべき方策について相談する必要があると思ひ、放射線測定計画等を専門官に見せ今後の対応について相談したところ、専門官は「あなたが技術の専門家であり、そのとおりに実施してください、実施内容については適宜報告してください。」とのことであった。これからの後の活動は、計画を立てて、実施の段階で専門官に報告する、という段取りで実施できるようになった。

7. 放射線測定状況

いずれにしても、当時の放射線状況は、電離箱による γ 線での測定では、30～50 μ Sv/h 程度であった。また、表面汚染を測るため M チームリーダーがベータガンマ線の測定を行ったが、周辺のガンマ線が高いことから、サーベイメータは通常のレンジでは振り切れの状態であり、この状態では、身体汚染を測定不可能であることがわかった。また、アルファ線のサーベイを行ったところ、表面はもとより、空気中においても 200～300dpm 程度のカウント数ができる状況であった。これは、表面密度が高いわけではないと考えられたがスミヤの採取を行った。

JCO敷地内で空気中のダストをサンプリングし、環境中のダストろ紙の放射能測定を行うこととした。これは、機構の放管員はJCOサイト内で空気中の放射性物質があるのかわからないのかを大変気にしていた。当初、機構を出る段階では、放射性物質が爆発等により飛び散ってその影響により空気中のどこでもアルファ線のサーベイメータが反応している可能性もあったからである。仮にそうだとすれば、すぐに呼吸保護用のマスクを着用する必要があったが、サイトの中の人たちは誰もマスクをしていなかった。

サイト内で測定が実施できる場所、すなわち中性子線等が遮蔽できる場所を探したところ、 ^{60}Co 照射施設が有ることが分り、この施設で測定をすることとした。いざ実施する段階で、臨界事故による放射線の影響で、逆に内部からドアが開かないように、インターロックがかかっている施設には入れない状況であることが分った。

このため、スミヤ、ダストろ紙は、機構に搬送し、測定評価することとした(15:59 頃依頼、機構には 17:25 頃着)。測定の結果、空気中の濃度、表面汚染密度は通常の放射能濃度であることがわかった(20:11 頃)。

また、JCOの社員等の方々のサーベイについても、サイト外で実施する必要があることが分かった。

8. 中性子線測定

これまでの経験から、JCO事務棟内のアルファ線、ベータガンマ線等の放射線状況は、空気中のすべてがアルファ線、ベータガンマ線によって汚染されているか、または広範囲に中性子線場が形成されているかのいずれかが推定された。そこで再度、アルファ線、ベータガンマ線の状況を測定した。

その結果、アルファ線の計数が、空気中も含めどの位置でもほとんど均一に分布していることがわかった。これは、M チームリーダーから、これまでの機構のプルトニ

ウム燃料施設での経験では、空気中の汚染ではランダムな計数を示すことから空気中の汚染とは考えにくく、かつアルファ線の測定器が中性子線にも感度があることが分かっていると報告があり、このアルファ線の計数状態から臨界状態が継続し中性子線が放出されている可能性の方が高いと判断した。中性子線測定を行うため、機構支援本部に、早急に中性子線測定用のレムカウンタ及び3-He中性子スペクトロメータを持ってくるように依頼した(15:30頃)。

16時30分頃レムカウンタが到着したため、事務棟で中性子線を測定したところ1階で $200\mu\text{Sv/h}$ 、2階で $600\mu\text{Sv/h}$ 程度の値を示していた。3-He中性子スペクトロメータは届かなかった。

その後、現場にいた国の専門官及び村のH環境保全課長と住民の退避の妥当性を確認するため、敷地境界における中性子線量を測定することが重要と判断した。このためJCO社員の案内により放管2課のK職員に測定を指示した。測定の結果、県道側の地点で、17:05に 4mSv/h の点が確認された。これが、臨界事故の継続を示す直接的な証拠となるとともに、住民の居住地域の妥当性を判断する初めての中性子線測定値となった。(Fig.5)

9. 周辺環境の線量の把握

中性子線の測定結果は、県道側の地点で、 4mSv/h であり、住民の居住地域の退避計画等の決定の上で重要なデータであるため、その場にいた専門官に連絡するとともに、専門官の指示によりJCOの事故対策本部を経由して関係箇所へのデータの発信を指示し、その場にいた村のH環境保全課長に連絡した。

その後、周辺住人の線量把握は、周辺環境の線量の把握が第一であることから、定期・定点で継続測定することとした。

10. JCO社員等のサイト内からの退避(18:30頃)

JCOサイト内には、女性を含め大勢の方々が残っていたので、被ばく量を低減させることとJCOサイトから退避させるため、JCO社員等の汚染測定を行うこととした。しかし、前述のように、サイト内で測定が実施できる場所、即ち中性子線等が遮蔽できる場所を探したにもかかわらず、適当な場所は見つからなかった。 ^{60}Co 照射施設も内部からドアに、インターロックがかかっていて施設には入れなかった。このため、サイト内では身体汚染測定が実施できないので、JCOサイト内に最低限の保安要員を残し、他の人々を外部に退避させる案について、K所長に確認したところ「そうして欲しい」とのことであったので、東海村のH環境保全課長に、200人程度が収容でき、線量の低い場所を手配していただいた。その結果、石神コミ

コミュニティーセンターに、社員等を全員退避させてそこでサーベイを行うこととした。(この段階で舟石川コミュニティーセンターは、JCO周辺住民の方々の避難場所となっていた為利用できなかった)

退避にあたり、移動のための車を手配する必要があった。第一に、社員等の方々の車で、それぞれ退避する方法を検討したが、車は転換棟の方角にある駐車場にあり、駐車場の方角に行くことが被ばく管理上良くないとの指摘があり、バスを手配することとした。社員等が汚染している可能性があるとの前提で探したところ、東海村内の原子力関係機関のバスが考えられたが、調べさせたところ、それぞれの機関ごとに使用目的がありこの時点で利用できないことがわかった。このため機構でもすでに村に対してバスを提供していたが、機構の予備のバスを利用する以外にないということで、急遽バスの内部を汚染防止のためビニールシートで養生し迎えにくるよう機構支援本部に依頼した。ビニールシートでの養生には一時間強を要した。このバスの到着を待って、JCOサイトの安全確保に必要な保安関係者を残し、女性を優先的にバスに乗せ石神コミュニティーセンターに69名が移動した。(一般従業員についてもどうしても家に帰らなければならない方たちについては、サーベイをしてバックグラウンド値より優位な指示値が出ない場合には帰宅しても良いとした記憶もあるが定かでない。)

11. 石神コミュニティーセンター (19:30頃)

石神コミュニティーセンターでは、やはりセンター周辺を汚染させる可能性があった。このため、移動に先立ち、石神コミュニティーセンターに調査に行き、汚染を管理する区域を設定することとした。この段階で夜になって、外は暗くなった上に雨が降り出していた。

石神コミュニティーセンターでは、建物の入口前に、ビニールシートで養生した区域を設定し、社員等を順番にサーベイすることとした。

サーベイ中に放射性クラウドの影響でバックグラウンドが変動する状況も生じたが、機構放射線管理課員が全員のサーベイを行った。サーベイの結果に異常のなかった方々は、とりあえず石神コミュニティーセンターの中で待機していただくこととした。

このサーベイにより、衣服等に汚染のあった者が7名発見された。これらの方々について、内部被ばくの有無を確認するためWBCを測定することとし、WBC測定についても村内の関係機関に受け入れの可否の打診をしたところ、しかしながら各機関とも受け入れは難しいとのことであったので、この段階でWBC測定の受け入れ準備のできていた機構の東海事業所に送りWBC測定を実施した。(20:00頃)

結果的には、身体汚染は単寿命の希ガス成分の崩壊生成物であり、WBC測定に当た

っては身体等の除染を行った後 WBC 測定を実施した。これらの方々については、WBC 測定に送り出す段階では、測定の結果 Na24 が確認されるとは思っていなかったが、結果としては 7 名全てから Na24 が確認された、その後の調査の中でも JCO の社員の方々にこの他に 33 名から Na24 が確認された。これは、このような臨界事故の時、身体汚染測定が高線量被ばくのよいスクリーニング方法になる可能性のあることを示唆している。

一方、石神コミュニティーセンター内では、JCO の社員の方々と JCO サイト内で検討した臨界を終息させる対策、すなわち、溶液を抜く等の方法、中性子吸収剤の注入(アンモニアラインの使用)等について、より具体的な臨界事故終息の検討を開始した。このため、石神コミュニティーセンター内を、管理人の方と相談し、1 階を待機場所とし、2 階を臨界事故を終息させる対策の検討の会議室とした。

まず、水抜き作業の手順を検討するために周辺の工程図面と配管施工図、建家図面等について、これまでに収集できた図面を確認した。入手できた図面を 2、3 枚準備し検討を行った。しかしながら、検討の過程で、最新の図面でないと考えられること、施工段階で実際の施工が図面と異なっている可能性が大きいこと等の理由で、実際の配管が必ずしも配管図面通りになっていない可能性が JCO 社員の方から指摘された。また、冷却水ジャケットの冷却水を循環させるポンプが作動しているかどうかでこの部分から水が抜けるかが異なることがわかった。従ってより詳細な検討をするには現場を確認する以外に方法がないように思われた。

12. 現地政府事故対策本部 (20:30 頃)

石神コミュニティーセンター内で JCO 技術者と工程図面等で検討を進めていたところ、科学技術庁の Y 管理官から、携帯電話で原研東海研究所に設置された現地政府事故対策本部(以下、「現地政府本部」という。)に事故の現状に関する最新情報の報告と、事故対策の議論に加わるように依頼があった。このため JCO 技術者等と現地政府本部に向かった。(20:30 頃)

Y 管理官からは、これ以前から携帯電話で事実関係に関する問合せ及び連絡の依頼があったものの、現場対応を優先せざるを得ない状況であり、対応できていなかった。

現地政府本部には、Y 管理官を始めとする政府科学技術庁関係者、原研 H 所長(15:10 頃到着)等原研関係者、機構 K 副所長以下関係者が集まっていた。

稲葉政務次官(19:50 頃到着)、住田原子力安全委員、金川原子力安全委員(21:40 頃到着)が到着し、それぞれ現地政府本部の役割、原子力安全委員会の役割等につい

て説明された。(稲葉政務次官:現地政府本部長、住田原子力安全委員:現地政府本部長代理)

現地政府本部でも、事故の終息の方法について検討されていた。検討内容の詳細については、現地政府本部にそれまでいたわけではないので詳細は別に譲ることとしたい。

現地政府本部のメンバーの中で JCO の現状に関する情報を共有化することが必要であった。そこで、K 所長等が、JCO の沈殿槽の状況等についてこの時点で分かる範囲の説明をし、私から、現場の放射線状況について報告し、放射線量率が高く事故の終息作業には相当の困難が伴うことを説明し、作業にあたってはより厳密な放射線データを採取し、現場に適した作業計画を立案する必要がある旨を伝えた。また水抜き作業の実施の可能性、妥当性、中性子吸収剤の注入の可能性、妥当性に関して検討を進める必要があったため、これまで、JCO サイト内及び石神コミュニティセンターで検討した内容について情報の共有化がなされた。H 氏等からは、特に、現場の配管状況についてこの段階で判明している範囲について説明があったが、転換棟の外部から配管のバルブを開にすることにより抜ける可能性はあるものの簡単に抜けない可能性もあったため最終的には現地で確認する必要があるとの認識となった。

この段階では、まだ確認できないことが何点かあった。最も重要な点は、沈殿槽内に入っているウランの量及び液量であった。

なぜなら、この段階で、投入されたと推定されるウラン量と沈殿槽の形状から、臨界量の計算が行われていたからである。原研の計算によれば、臨界点を表す $k_{eff}=1.01$ であり、沈殿槽周辺のウォータージャケットによる水反射効果をのぞいた場合、すなわち、水抜きをした場合でも $k_{eff}=1.004$ であり臨界は収束しないことを示していた。原研の委員からは、水ありと水なしでは 4% の違いがあり水抜きの効果は期待できるとの発言がなされた。機構による荒い計算結果では、 $k_{eff}=1.008$ が水抜きにより $k_{eff}=0.988$ これは臨界が収束することを示していたが、原研の計算を正として検討を進めることとなった。これらの計算の結果から、水抜きにより臨界が終息できるか否かは五分五分の印象であった。これらの計算の精度を上げ、かつ被ばく線量をより少なく臨界終息作業を進めるための検討を行うためにより正確なウラン量を知ることが重要となった。

正確なウラン量を知る等のため、Y 管理官は放射線医学総合研究所に電話をすることであったので、別室にて、尋ねるべき事項を話し合いながら、JCO の作業員の中で被ばくの少なかった作業員 (Y 氏) から聞き取りを行った。始めに、作業手順ウラン投入量等の推定を確認した。その結果、沈殿槽には攪拌の目的でウランを入れ

たこと、ウラン溶液を5リットルビーカーで数回入れ40リットルのうち最後の溶液を入れ終わる段階で青い光を見たことの2点を確認された。最後のバッチの最終段階で臨界となり、それ以降はほとんど溶液は足していないとのことから、臨界超過量は比較的少ないとの希望的な見方もできた。その他、ハンドホールは漏斗でふさがっていること、アンモニアラインのバルブは全て閉となっていること、冷却水が循環していたか否かは定かでないこと等、今後の作業に重要な情報が確認された。(Fig. 6)

現地政府本部での結果、臨界を終息させることが第一優先課題であることでは意見が一致した。過度の被ばくを避けつつ臨界事故を終息するため、水抜きを第一に実施し、それでも事故が終息しない場合にホウ酸水を注入することとなった。

ホウ酸水の手配及び転換棟内での作業の可能性等も考慮し、遮蔽体を準備しておこうということになり、中性子線遮蔽体準備を原研が行うこととなった。

政府の現地政府本部では、これ以上の具体的な計画の検討は無理なため、より具体的な実行計画は現地で立て実施することとなった。このため、JCO技術者とJCOサイトに戻った。

13. JCOサイト内での臨界終息作業

13.1 作業工程の検討

20時30頃JCOサイトに戻り、JCO技術者と再度水抜き作業の計画の作成を開始した。計画に当たっては、作業目的、作業を行う場所の線量、作業に参加できる作業員の数、防護装備、細かい作業手順を把握する必要があった。

13.2 作業の目的

沈殿槽を取り巻いている冷却水の入っているクーリングジャケットから水を抜き、反射体効果をなくし臨界を収束させる。

さらに、水抜きができない場合に備えて、また水抜きの効果を確実にするため中性子吸収剤であるボロン水を沈殿槽に注入すること。

以上の二つが目的であった。

13.3 作業項目

この段階では、作業を次の五段階で実施することを考えていた。

- ① ポラロイド写真撮影
- ② バルブ操作

- ③ 配管カット
- ④ ホースつなぎ込み
- ⑤ アルゴンガス注入

これらの各段階の作業を進めるに当たって、具体的作業手順の検討と、現場の放射線状況、作業者の確保、防護装備の検討、遮蔽対策の考慮等は密接に関連がある事項であり、順次検討していった。

13.4 具体的作業手順の検討

水抜き作業の具体的手順を検討するために、関連の工程図面と配管施工図、建家図面等について、これまでに収集できた図面について再度確認した。しかしながら、入手できた図面は、これまでに石神コミュニケーションセンター等で確認した2、3枚以上にはなく、最新の図面でないと考えられ、また施工段階で実際の施工が図面と異なっていると考えられた。そこで、実際の配管が必ずしも配管図面通りになっていないと考えて手順を組むこととした。

現場配管の確認のためには、ポラロイド写真を撮り、それを持ち帰って検討する方法しかなかった。また短時間に現場周辺での作業に伴う被ばく線量を推定する必要があった。そこで、沈殿槽に近い転換棟の外部から接近しポラロイド写真を撮影する作業を行い、このとき、余裕を持った線量でアラームを設定しておくことにより、実作業時の線量を把握することとした。これらの今後の作業手順の確認のための概略図をJCO技術者の協力を得て作成した。(Fig.7)

この図面は、作業場所となるクーリングタワー周辺の状況、水タンク等の遮蔽物になる可能性のある物の状況、その他障害物、照明の状況等について聞き取りで作成した。

まず、転換棟外部から、遠隔操作にて水抜きが可能な方法がないか再度検討したがこれは不可能であることがわかった。

また、このクーリングタワーには、外部から配管に手を加えることができる可能性があることがわかった。コックがあり適切なコックを解放すれば水が抜ける可能性があることがわかった。

作業場所と、作業方法を検討したところ、最短距離は沈殿槽から2、3m程度と判断された。

その他の、臨界を終息させる対策、すなわち、中性子吸収剤の注入(アンモニアラインの使用)等についてのより具体的な臨界事故終息の検討を開始した。

また、冷却水ジャケットの冷却水を循環させるポンプが作動しているかどうかで、どこのバルブ等の部分から水が抜けるかが異なることがわかった。従ってより詳細

な検討をするには現場を確認する以外に方法がないように思われた。

13.5 作業者の確保

確保できる作業者の人数をJCO技術者に確認したところ、この日、沈殿槽の作業を行っていた作業者は病院に搬送されている者以外にはいないことがわかったため、それ以外の作業員で作業の行えそうな作業員を探すこととした。それには、沈殿槽の作業を行っている作業員で、他の直に属しているためこの時点で自宅にいる者は2名程度であり、さらに広い範囲の作業員を探す必要があった。従って、沈殿槽の作業は行っていないがこの工程を知っているもの、その他この工程は知らないものの転換棟の場所、構造等がわかっているものを加えても10名程度の方々を確保していただいた。

その後の作業内容の変更等を考えさらに作業員を確保しておきたいと考え、10名程度の作業員の手配をお願いした。その結果、最終的には20名程度の作業員が確保された。

13.6 防護装備の検討

防護装備としては、機構からすでにタイベックスーツ、エアラインスーツ等を運んできていたが、中性子線場であること、空气中放射能濃度はそれほど高くないと推定されること、さらに短時間での作業が必要と考えられることから、なるべく軽装での作業とするため、タイベックスーツを基本としてその上に酢酸ビニルスーツを着用することとした。

これに必要に応じて、通常の全面マスク、あるいはエアーマスクを装着することとした。

これらの着装のためスペースを確保することとなったが、実態として、事務棟以外の場所に設定することはできなかつたため、事務棟の廊下の部分に設定することとした。

装備の着装は室内で行い、事務棟の入り口から出発させることとした。作業員は、作業後に汚染されている可能性もあるため、脱装については、事務棟の裏口の前にビニールシートでエリアを設定させることとし、そのエリアでサーベイしてから、脱装し事務棟内に入れ最終的に脱装するように、事務棟内部の廊下に特別なエリアを確保して行った。

放管員からは、バックグラウンドが高いために、サーベイができない、あるいはどのようにサーベイしたらいいかわからないとの疑問が出されたが、高いバックグラウンドであっても、その値に変化がなければ重大な汚染なしとして取り扱うこととした。

13.7 遮蔽対策の考慮

コンクリートの遮蔽体、水タンクによる遮蔽体等の遮蔽対策についても検討したが、コンクリート、鉛等の定型の遮蔽体は、原研、機構にあるものの、小型の水遮蔽体のような適当な遮蔽体がなく、また調達するとしても時間がかかること、仮に調達できたとしても遮蔽体の配置自体にも被ばくが予想されること、現場における作業に対して制約を与える可能性のあること等を考慮し、当面遮蔽体のない状態で作業時間を管理することにより被ばくを管理に対応することとした。

13.8 原研 T 副所長、K 氏等が到着

23 時 30 分頃、現地政府本部にて作業計画を検討していた原研の T 副所長、K 氏等が到着した。これ以降の作業については、適宜協力しながら作業を進めることとなった。

13.9 放射線測定と管理

3-He 中性子スペクトロメータについて再度届けるよう依頼したが、測定器の調子が悪く届けられないとのことだった。

放射線の測定は、JCO で測定するかどうか話し合ったが結論が出ず、JCO 技術者の案内で、原研、機構で分担して測定することとなった。事務棟は、転換棟から約 250m 地点にあるが、約 150m から約 30m 地点まで距離別に順次測定をした。測定は、事務棟から出て、1P 建物横を回り、品質管理棟横に着いた時点で、中性子線で 3.35mSv/hr、ガンマ線で 350 μ Sv/hr を示しており、危険と判断して事務棟に引き返した。

事務棟 1F で、沈殿槽から約 250m までの中性子線量を、原研 T 副所長の助言により片対数グラフでプロットし、ほぼ一直線上になっていることを確認した。(Fig. 8) この直線によれば、沈殿槽付近では中性子線で 18mSv/hr 程度を示していた。

しかし、原研の T 副所長、K 氏と相談したところ、もう少し転換試験棟近くのデータがほしいという話になり、再度、より沈殿槽に近い場所の測定を行った。(Fig. 9)

再度の測定は、固体廃棄物棟横の時点で 10mSv/hr (中性子線) を越え (別の測定器で 16mSv/hr)、沈殿槽から約 15m の地点で、ガンマ線で 20mSv/hr を示していた。

中性子線とガンマ線の比は、概ね 10:1 程度であったが、約 35m 地点で 4:1 という値となっていた。

これらの中性子線とガンマ線の測定値の中で、最も安全側の考え方としては、沈殿槽から約 15m の地点で、ガンマ線で 20mSv/hr に対して中性子線の比率 4 倍を考えるとトータルで 100mSv/hr、10 倍と考えると、220mSv/hr であった。

水抜き作業を行うクーリングタワーは、沈殿槽から直線距離で約 3m であり、作業者の最大被ばく線量は沈殿槽直近の線量を評価値の基礎とする必要があるように思われた。沈殿槽直近の線量は、最小で 20mSv/hr 程度、最大で 2Sv/hr 程度と考えられた。これは 1 分間あたりに換算すると、0.3mSv から 30mSv 程度と考えられた。

13.10 住田現地政府本部長代理等の到着

10 月 1 日、00 時 30 分頃住田現地政府本部長代理及び京都大学教授が到着したので、以降の作業については、住田現地政府本部長代理等の意見を聞きつつ進めた。

13.11 作業班の構成

01 時半頃までに、作業全体は作業員の技量と被ばく量等を考慮し、1 班 2 名で 5 班程度の班を編成し、もしもの時の予備班として 10 班程度までの班を編成して作業を実施することとした。

実際に誰が作業をすべきなのかという段階で、JCO 側からは、機構も放射線の専門家として協力してもらえないか、さらには、作業班の構成の中に機構職員を加えた方が作業が順調進むのではないかとの議論もあった。

誰が作業をすべきかについて、私は機構支援本部に確認するとともに、住田現地政府本部長代理に相談をした。住田現地政府本部長代理は、この作業を実施する責任があるのは JCO であるとの見解であった。

住田現地政府本部長代理は、発災者として JCO の職員により作業班を構成し、作業を実施するという判断であったので、自ら K 所長を説得された。住田現地政府本部長代理は、具体的人選とそれぞれの作業員に対する説得については JCO の K 所長に依頼したとのことであった。

13.12 作業指示と管理

作業の指示と管理は、指示系統の単純化、慣れない機器による間違い防止等のため、事務棟 1F の応接室において、筆者及び JCO 技術者が次の作業の指示確認、作業報告の確認、また、放射線管理についてもアラームの受け渡しを行い、過去のデータの記録、消去を行う方式としていた。

これらのそれぞれの操作が、確実に実施できるか否か不明であったため、それぞれの手順について 2 班ずつ当てて作業するつもりで開始した。

第 1 回目の作業者に対しては、放射線量が推定値であること、実作業場所の作業条件が必ずしも把握しきれていないことを考え、作業時間 2 分間、往復の時間を車で行くこととしてさらに 1 分加えて、時間管理として 3 分間の作業とした。

また、放射線被ばく管理として、住田現地政府本部長代理より佐藤安全委員長と相談した結果、100mSv 緊急時の被ばく線量として良いこととなっているとの話があった(注 1)。これに基づきアラーム設定をすることとしたが、作業員の中からは、100mSv は多すぎるとの声もあったこと、今後の作業を考え余分な被ばくは避けた方がよいとの考え、50mSv とする考えであった。中性子線とガンマ線の比を 10:1 とし、ガンマ線で 5mSv を警報設定値とし、警報が吹鳴した場合には退避することとした。この放射線管理のために、ガンマ線のポケット線量計 1 台と、中性子線のポケット線量計 1 台を携帯させることとした。本来であれば、中性子線のポケット線量によりアラームをかけた方がより良かったがガンマ線のポケット線量計にしかアラーム機能がなかったためこの方法を採用した。

作業員に対しては、作業時間は最大 2 分間で、移動を含め 3 分間とすること、アラームがなったら退避すること、それらに拘わらず作業が終了したら引き返すこと、の 3 つの条件を守るように指示して作業を開始した。

以後この 3 つの条件は各作業の度に必ず作業員に伝えた。

13.13 作業開始

① 2:35 発→2:38 着 (Fig. 10)

第 1 班は、2～3 分間でアラームがなったため帰ってきた。中性子線被ばく線量は、それぞれ 91.2mSv、11.92mSv であった。この段階では、ガンマ線が 7mSv 程度であったことから、中性子線とガンマ線の比も 91.2mSv については、約 13 であり妥当な感じがしたが 11.92mSv の意味が分からず、中性子線のポケット線量計の信頼性がないと判断した。後から考えれば、11.92mSv は、線量計が一回転し 111.92mSv のことであることが分かった。

この班の作業では、ポラロイド写真を 3 枚撮影し、その写真から、ポンプ周りのバルブは全開（バルブ操作必要なし）であること、ライン上にユニオン継ぎ手があることが分かった。(Fig. 11、Fig. 12)

そこで、パイプカッティングを変更し、ユニオン継ぎ手の取り外し作業とする必要が生じた。また、同時に、作業員から冷却ポンプの現場指示ランプが赤く点灯していたということが確認され、これはポンプが当初の予想に反し動いていることを示していた。

(注 1; 国会、科学技術委員会議事録、参考文献 11 参照)

いずれにしても、結果としては、当初の想定より線量が高いことが示された。作業員によると、アラームが鳴ってしまったが、何も作業をしていない間だったので続けて3枚写真を録って、止むを得ず引き返したとのことだった。全行程が3分間であったことを考えると、アラームが鳴ったのは、1から2分程度であったものと考えられた。

そこで、作業管理の考え方を変更することとした。まず、中性子線のポケット線量計の信頼性がないとの判断から、第2班以降は中性子線のポケット線量計は2本携帯させることとした。また、管理目標線量については、線量を抑えるため20mSvとすることとした。これに対応して、アラームの設定値はガンマ線で2mSvとした。しかしながら、初回でさえ100mSvぎりぎりであったことを考えると、この線量管理でも守れなくなる可能性もあった。そこで、作業員に対しては、現場での作業時間を1分間として管理することとし、車の運転手には1分間たったらクラクションで合図をして作業員を呼び戻させることとした。これより、50mSvは無理であっても、実態面で、最低限100mSv以内を担保できるであろうと思っていた。

(後に、原研のNUCEFにおける照射試験で中性子線のポケット線量計の感度は2倍高いことが分かっている。)

② 3:01 発 → 3:03 着

第2班以降の作業員に対しては、作業時間は最大1分間とする、アラームがなったら退避すること、それらに係わらず作業が終了したら引き返すことの3つの条件を守るように指示して作業を開始した。

第2班は、第1班の確認結果から、ポンプが動いている可能性があることから、本作業員には作業開始前にポンプの起動状況を確認し、起動中であるならば何もせずに戻ってくるように指示した。ポンプの起動確認には、ポンプ自体に触診し、その振動状況を確認するように指示した。

戻ってきた作業員より、ポンプの起動を確認した旨の報告を受け、再度、作業ステップを変更することとした。この際ゴムの焦げたようなにおいがするという報告があったので、原因を検討したが不明であった。放射性物質が飛散している可能性もあったことから、第3班からは、ヨウ素フィルター付きの全面マスクを着用することとした。

③ 3:22 発 → 3:25 着

第3班は、ポンプの起動が確認されたことによって、冷却水が転換試験棟内を循環していることが確認された。このため、給水バルブを閉じ、ポンプ運転中に冷却塔のドレンバルブを開くことによって、余剰の冷却水を排出する方法に変更した。

しかし、排水バルブからの水の抜けがちよろちよろという感じでよくないことも分かった。中性子線の状況にもほとんど変化がないことから、ドレイン配管をハンマーで破壊することとした。

④ 3:48 発 → 3:58 着

第 4 班は、第 3 班の作業者のドレンバルブを全開にしたものの、水の出具合が悪いという報告を受けて、本作業ステップを付け加えることにした。写真等より冷却塔の材質が通常 PVC であろうとの予想から、タワー下部ドレイン配管をハンマーにより強制的に破壊することは可能と判断した。

第 4 班の作業者にハンマーを工務課に取りに行くように指示し、水が抜けていることの確認もするように指示した。

⑤ 4:16 発 → 4:19 着

第 5 班は、作業者が冷却塔に着いたときにはほとんど水が出ていないことを確認したらしいが、念のためにタワー下部ドレイン配管をハンマーにて配管の破壊は実施したとの報告であった。また、ハンマーにより配管を壊した結果、水は抜けたようだ、或るいはそもそも抜けていたとの情報がもたらされた。

⑥ 4:41 発 → 4:43 着

第 6 班、第 5 班の情報では、水は抜けたようだということであったが、まだ臨界は継続しており、水抜きで臨界が終息しない可能性も考えられた。これらの結果は、クーリングタワー下部に通常の清掃が十分でないため枯葉等が蓄積しているためではないかと考えられた。

しかしながら、その後の図面、冷却系統図面及び検討の結果、冷却系全体には、上部に冷却水のタンクがあり、その下に他系統の機器が設置されていて、さらにその下部に沈殿槽があり、転換棟の外部にクーリングタワーがあることがわかった。従って、相当量の冷却水が残存していることが考えられた。

ポンプで水が循環しているので、強制的に圧空等で水を押し出す必要が不可避であることが分かった。このため、反応性のないガスということでアルゴンガスを使うこととした。しかしながら、ガスを吹き込むためには、フランジや継ぎ手で密着させることが必要と判断した。

そこで、その後の手順として、フランジをゆるめ、フランジを片側持ち帰りそれに合わせてアルゴンを注入するフランジを加工しアルゴンボンベに取り付け、アルゴンパージをすることとした。

第 6 班には、ユニオン継ぎ手を取り外してくることを指示していたが、緩める途中でアラームが鳴ったために作業員は、そのままの状態に戻ってきた。そのため、次のステップで加工するためのユニオン継ぎ手の下部を持ち帰ってくるように変更した。

⑦ 4:59 発 → 5:02 着

第7班は、第6班が緩めたユニオン下部の継ぎ手を取り外し持ち帰った。その後、工務課でホースの取り付け作業にかかった。線量計は吹鳴していた。

⑧ 5:19 発 → 5:22 着

第8班は、ポンプが運転中であることもあり、水抜き出し口を作るために、ライン途中にあるフランジを緩めることとした。フランジ4本を緩め、水が出ていることを確認した。水は生暖かいとの報告であった。

線量計は吹鳴していた。

⑨ 5:44 発 → 5:46 着

第9班は、アルゴンパーズ用のノズルを取り付けた。アルゴンポンペを設置する位置である40m離れたところまでホースをのばし固体廃棄物棟脇まで延長させることができた。

当初は、吐出側配管をカットしてそこからパーズするために、冷却水はそのままクーリングタワーに排出されることを想定していたが、ポンプが運転中であったことと、クーリングタワー手前にユニオンがあったことがわかったので、そこからパーズする方法に変更した。そうすると、水はポンプが邪魔で排出できない可能性もあったので、フランジを緩めて排出させるようにした。

⑩ 6:00 発 → 6:04 着

第10班は、アルゴンパーズを行った。パーズをする作業員には、できればパーズで冷却水が押し出されていることを確認するように指示した。その結果、フランジ部分から勢いよく冷却水が出ていることを確認して作業員は戻ってきた。

これらの作業により、臨界事故が終息し、その結果が事務管理棟2階の中性子モニタにより確認された。これ等の結果についても直ちに、JCOの事故対策本部経由で各所に報告された。

作業全体は10月1日の2時過ぎから6時頃まで約4時間で実施したが、結果的には全員50mSv未満の被ばく量で作業が実施できた。(Fig. 13)

なお、防護装備については希ガスから崩壊した短半減期核種 (^{138}CS 等) が主体であるとの情報から、全面マスクにダスト・ガスフィルタを装着し、タイベックスーツ装備で実施した。

13.14 ほう酸水注入作業

JCOのK所長からは、ほう酸水注入作業を早めても良いのではないかとの話も

あったが、ほう酸水注入作業は、当初沈殿槽から 1m 位まで近づくため臨界が続いていけば致死量的線量に達する可能性があり、できれば避けたいと思っていた。

このほう酸水注入作業についても、実際に誰が作業をすべきなのかという段階で、JCO 側からは、機構に対して、JCO 内にはもう作業を行える作業員が少ないこと、作業に使う消防車が機構の消防隊しかできないこと等の理由で、作業班を機構職員で構成してくれないかとの話があった。この場合も住田現地政府本部長代理に相談したところ JCO が実施すべきという原則を変更すべきでないとの見解であった。

機構支援本部とも相談の結果、この段階では、水抜き作業が成功し場の線量も 100 分の 1 以下位に減少したため、被ばく管理上の問題も少ないこと、消防車の運転は機構消防隊しかできないことから、消防車の運転は機構消防隊が行い、ホースを沈殿槽に取り付ける作業は JCO の作業員という分担で行うこととした。

作業に先立ち転換棟とその隣の出入管理棟の概略図を作り、ホースの長さの検討を行った。手書きで作成した図面を Fig. 14 に示す。その結果、約 40m となったので、消防班の N 班長にほう酸水注入の試験を依頼した。試験は事務棟前で実施した。何とか注入できることがわかったが、所定水量より多くのほう酸水を注入してしまう心配もあったが、最悪の場合タンクから水が溢れても臨界が再発する可能性を残すよりはよいと思い実施することとした。

消防車は水タンクであり転換棟と反対側に隠れることにより被ばくを減らすことができた。その結果、幸いにしてこの作業も被ばく量 1 mSv 以下程度の範囲で実施することができた。

14. 周辺環境への放出放射能の評価

全体の作業が一段落してきた段階で、転換棟の負圧による閉じ込めの健全性の問題について確認する必要があるが出てきた。このため、表面汚染密度の測定を行うとともに、JCO 技術者に扉の開閉状況、換気設備の運転状況を確認した。ただ、それぞれの担当者が、警報により退避したため、必ずしも最終状況を明確につかんでいない者もいた。このため、機構からスモークテストの道具を持ってきて、確認を指示した。周辺への放出放射線量が評価できていない点に対応が必要と考え、スタックに機構のダスト、ヨウ素サンプラーの機器を設置し測定評価を行うこととし、機構から機材を運ばせ、設置測定開始を指示した。

15. 土嚢積み

臨界事故終息後、周辺住民の被ばく線量低減のため、土嚢積みを実施したが、機構からは90名が土嚢づくりに参加し、110名がその後の土嚢積み作業に参加した。

JCO 臨界事故時の事故認識に係る時系列

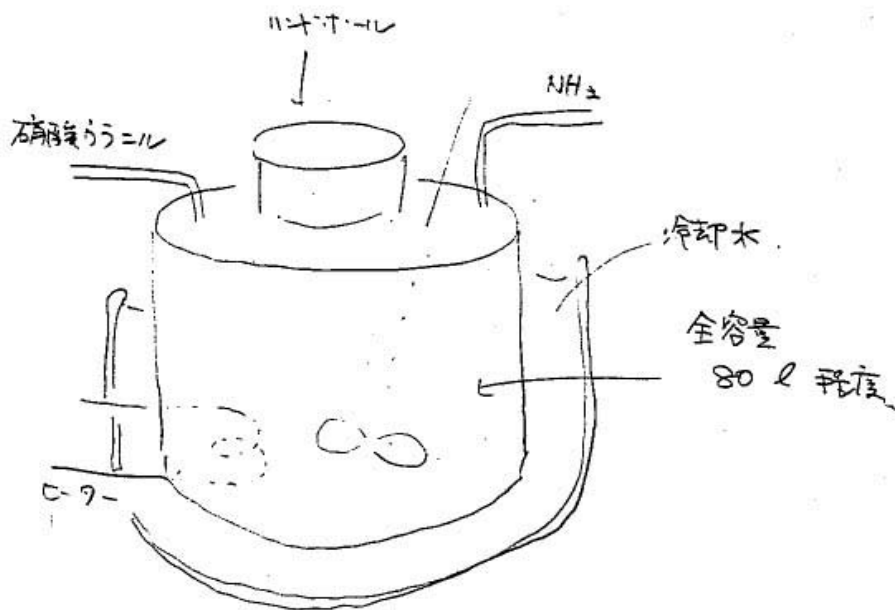
事 項	時 刻	臨界事故の認識
JCO : 臨界事故発生	10:35 頃	
JCO : 臨界事故第 1 報発信	11:15	
国 : 臨界事故第 1 報受信	11:19	・「臨界事故の可能性あり」
	12:15	・「臨界事故の可能性あり」
機構 : 東海村より電話連絡	12:15	・「放射線の事故のため救援」の依頼
	12:35	・臨界事故の可能性小 ・UF6 等の爆発の可能性
機構 : JCO より電話連絡		
機構 : 事故対策本部の検討	14:50	
結果	15:00 ~15:30	・臨界事故が発生した可能性を認識 : しかし、爆発で放射性物質飛散も完全に否定していない
機構 : JCO 到着		
機構 : 沈殿槽図面作成	15:00 ~15:30	・ γ 線, α 線の状況から、臨界継続の可能性大 ・臨界事故終息の検討開始 : 但し、臨界事故が継続していると確信してはいなかった
機構 : 放射線測定 (α , γ)	15:30	
機構 : 事項情報発信	15:30	・臨界事故が発生したタンク、及び終息方法の一部を記載 : 但し、関係機関に届いたのはかなり遅かった様子
機構 : 中性子測定準備	16:30	・中性子測定器は持ってこなかったため (始めから持って行くべきだった)、機構に取りに行かせた
機構 : 中性子測定開始	17:05	・JCO 事務棟で、n 線 : 200~600 μ Sv/h : 臨界事故が継続している証拠となった
機構 : 中性子測定結果発信		・JCO 外県道側で 4mSv/h

16. おわりに

JCO臨界事故が発生してしまったことは誠に残念であるが、二度とこのような事故が発生させないこと、並びに事故が発生した場合でも確実にこれを終息することが重要である。本報告が、事故の未然防止、事故終息活動並びに防災活動の改善に何らかでも役立つよう期待したい。

参考文献

1. 原子力安全委員会,ウラン加工工場臨界事故調査委員会最終報告書,原子力安全委員会,1999
2. 日本原子力学会 JCO 臨界事故調査委員会,JCO 臨界事故その全貌の解明,東海大学出版会,2005
3. Takada,J.(2001)External Doses to 350m Zone Residents due to Anisotropic Radiation from JCO Criticality Accident in Tokai-mura.Rad.Prot.Dosimetry. 42: S75-S84.
4. Fujimoto,K., Yonehara,H., Yamaguchi,Y.and Endo,A.(2001)Dose Estimation Based on Behavior Survey of Residents around the JCO Facility. Rad.Prot.Dosimetry. 42: S85-S93.
5. Momose,T., Tsujimura,N., Tasaki,T., Kanai,K., Kurihara,O., Hayashi,N. and Shinohara,K.(2001)Dose evaluation Based on NaActivity in the Human Body at the JCO Criticality Accident in Tokai-mura. Rad.Prot.Dosimetry. 42: S95-S105.
6. Yamaguchi,Y., Endo,A., Fujimoto,K. and Kanamori,M.(2000)Dose Assessment for public and Workers in the JCO Criticality Accident. OECD/NEA International Workshop on the Safety of the Nuclear Fuel Cycle. Tokyo, Japan. 29-31 May 2000.
7. 高田純,世界の放射線被曝地調査,講談社,2002
8. 金盛正至,他,Na の体内放射能測定とモニタリングデータを用いた JCO 臨界事故における従業員等の被ばく線量管理,日本原子力学会誌 Vol.43, No.1, p56-66, 2000
9. 金盛正至,JCO 臨界事故の終息作業について,JNC-TN8440 2001-018, 2001
10. JCO 臨界事故調査支援原研タスクグループ,JCO 臨界事故における原研の活動,JAERI-Tech 2000-074, 2000
11. 第 146 回国会、衆議院、科学技術委員会(1999 年 11 月 10 日)、第 1 号、議事録、1999



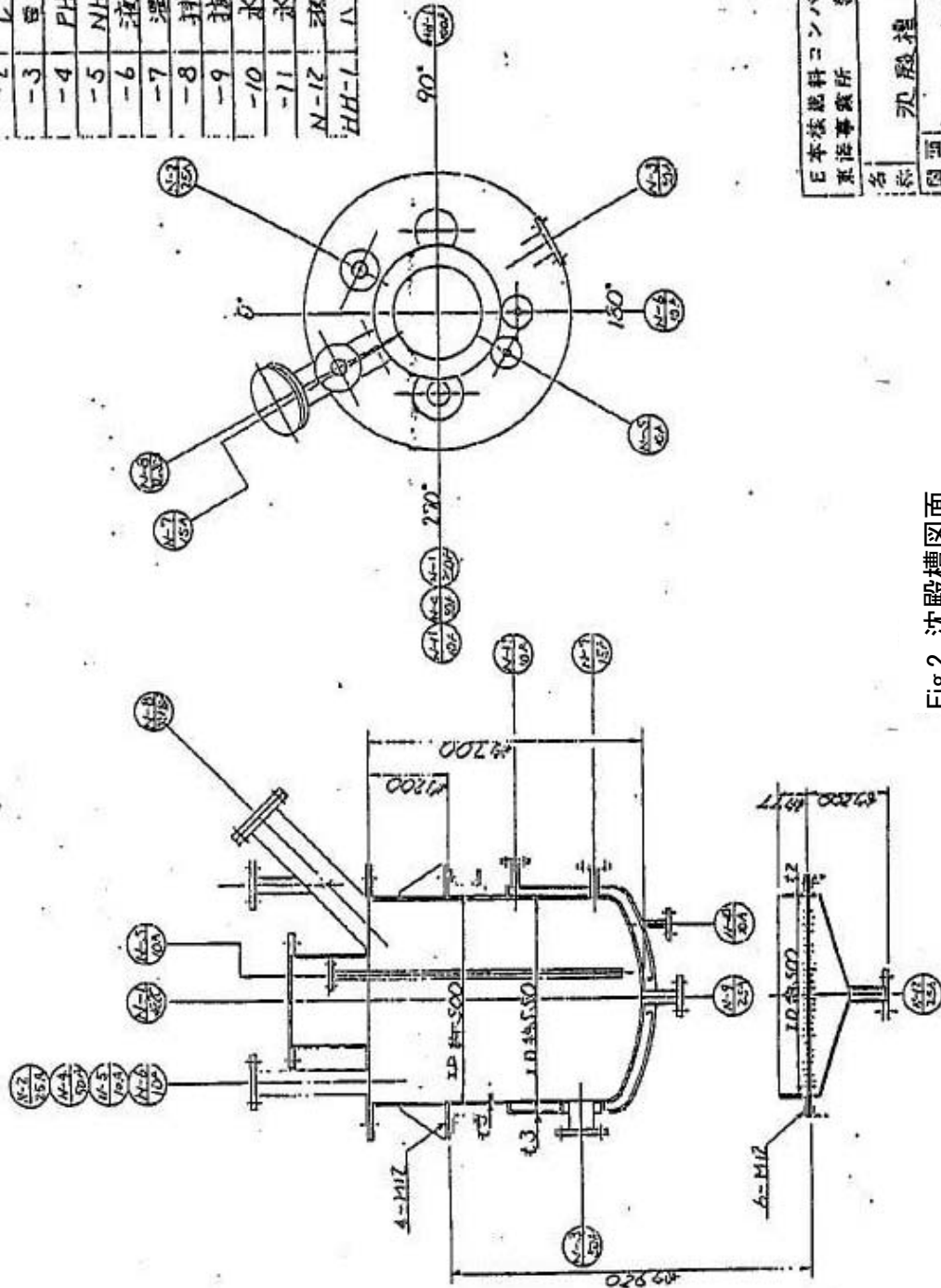
1. タンク内で臨界が起るといふと考へらる。
2. 本来 2kg 投入するところを 16kg 投入した。
3. 流量は不明。
4. タンク周囲の冷却水が、中性子反射剤となつてゐる可能性がある。

対策

1. 中性子反射剤を除去し、冷却水を抜く。
2. 中性子吸収剤を含む水（ボウシ水）をタンク内に入れる。
3. NH₃ ラインから入れることは可能か？

Fig.1 初めに作成した沈殿槽見取り図

ノズルリスト	
記号	用 意
N-1	攪拌機座
-2	レベル計
-3	空気ヒーター
-4	PHセンサー
-5	NH ₃ OH吹込み口
-6	液入口(純水)
-7	温度計
-8	排気口
-9	液出口
-10	水入口
-11	水出口
N-12	液出口
HH-1	ハンドル



日本核燃料コンバージョン株式会社	
東海事業所 新換装設備	
名 称	沈殿槽の取付位置
図 号	TR-4-22 四
番 号	Rev.

Fig.2 沈殿槽図面

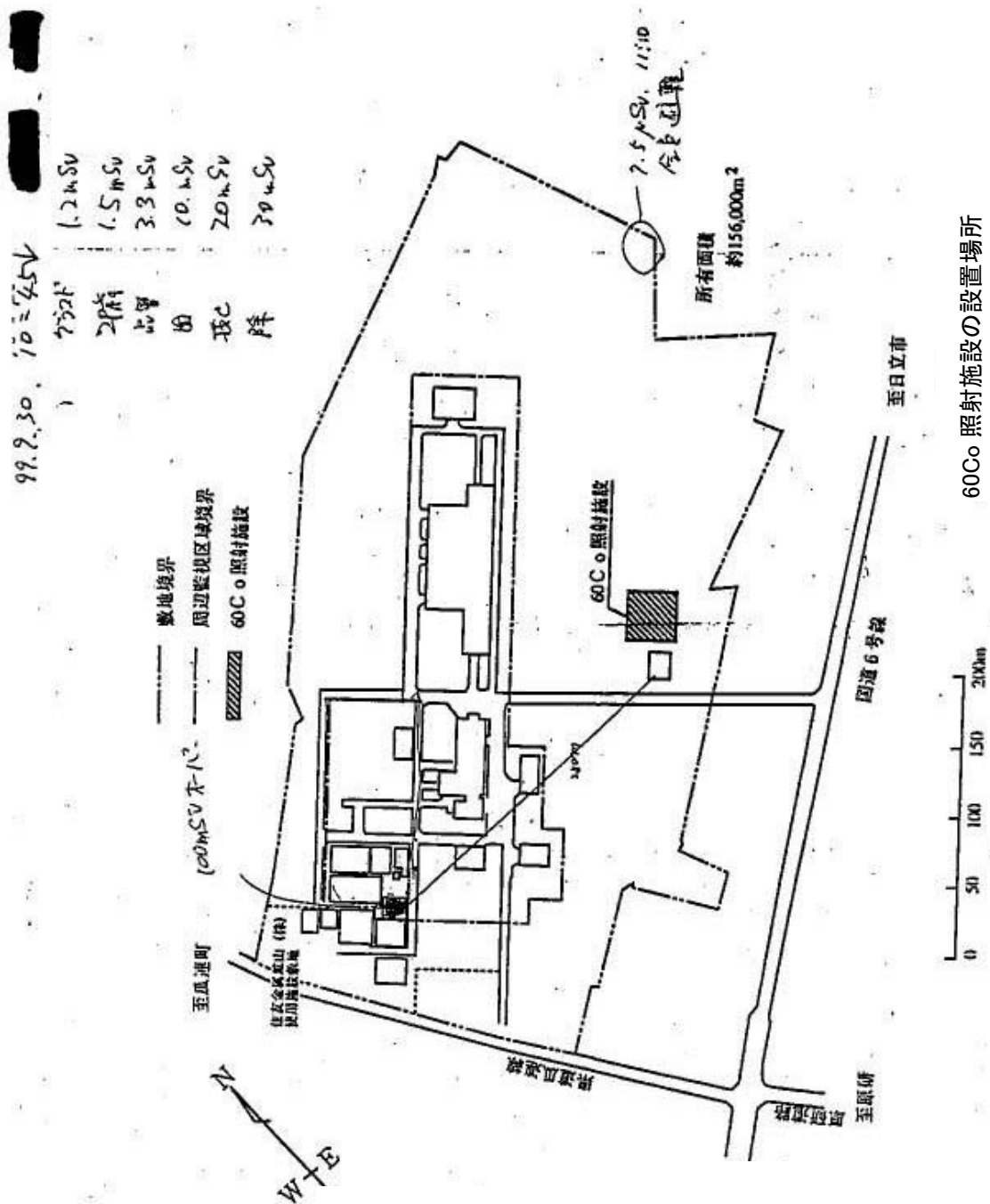
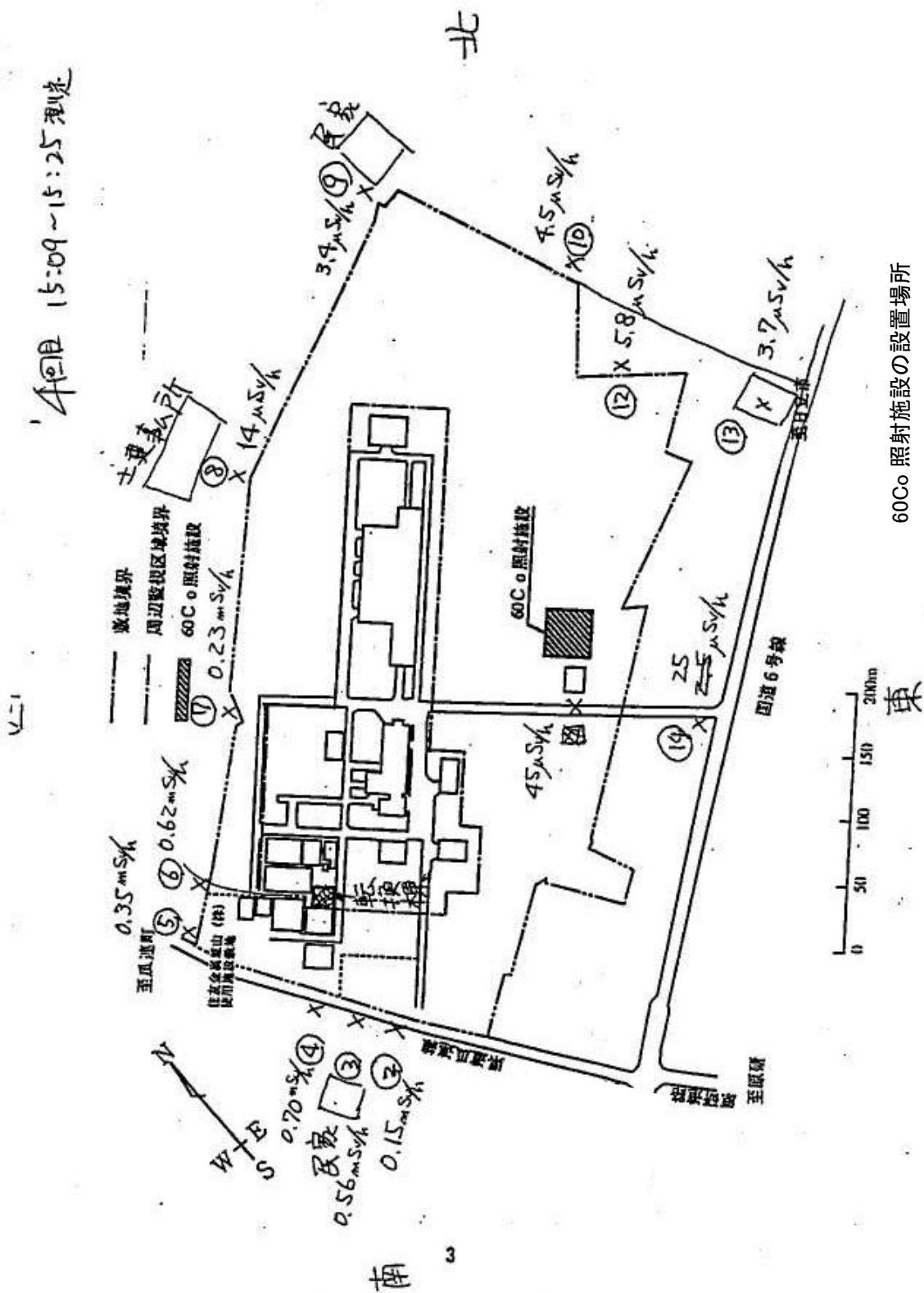


Fig.3 10:45 γ 線測定結果



60Co 照射施設の設置場所

Fig.4 第4回γ線測定場所

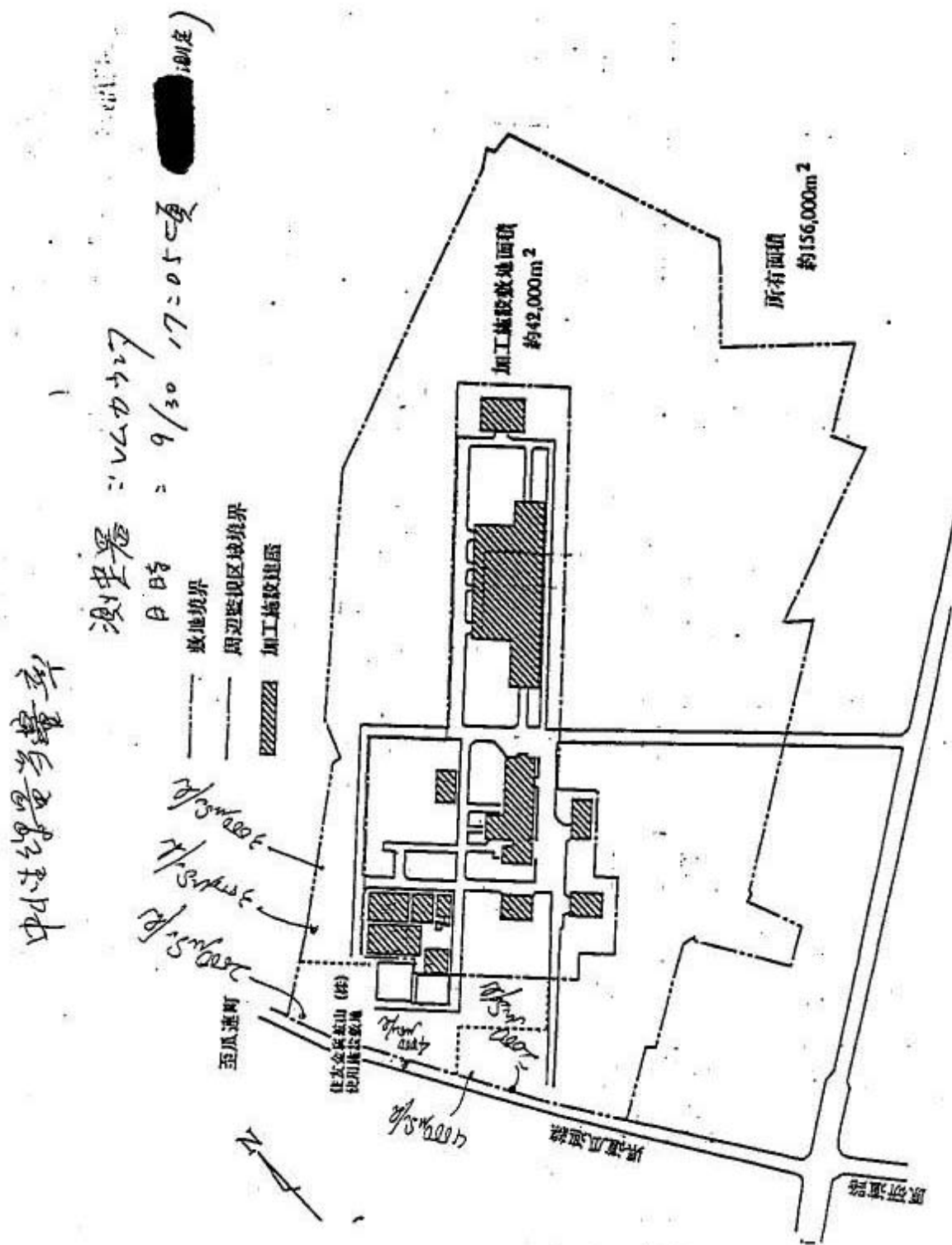


Fig.5 17:05 中性子測定結果

112トホ-ルカ3 5Lのビーカーで、3-4Lの40Lの水
40Lの水を入れたら32L起る。

5Lの溶液は 75%の部屋から²の部屋運入作業は。

- 5Lの溶液は 75%の部屋から112トホ-ル
75%の溶液は、30-0を水に入れておいておく、29%。
- 112トホ-ル南側状況 → 3トホ-ル30%の状況
"全部南"
- 溶液水を入れたら → 定かではない。
- 溶液水は均一にすくって入れる。
- 溶液水は入ったが、循環は定かではない。
- 30-0の材料は → スラリス
F5cm ± 20cm

Fig.6 作業員聞き取りメモ

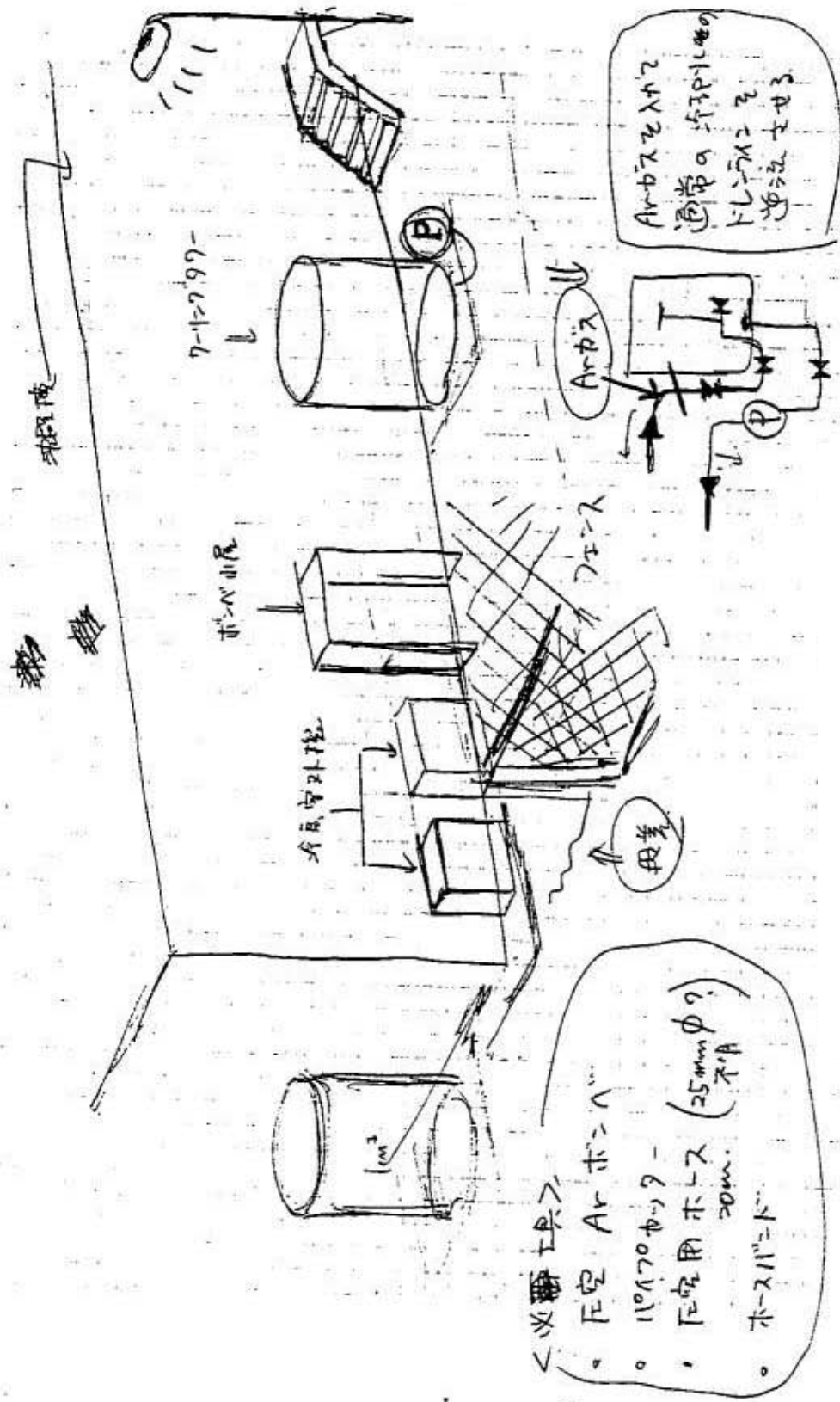


Fig.7 転換棟裏側図

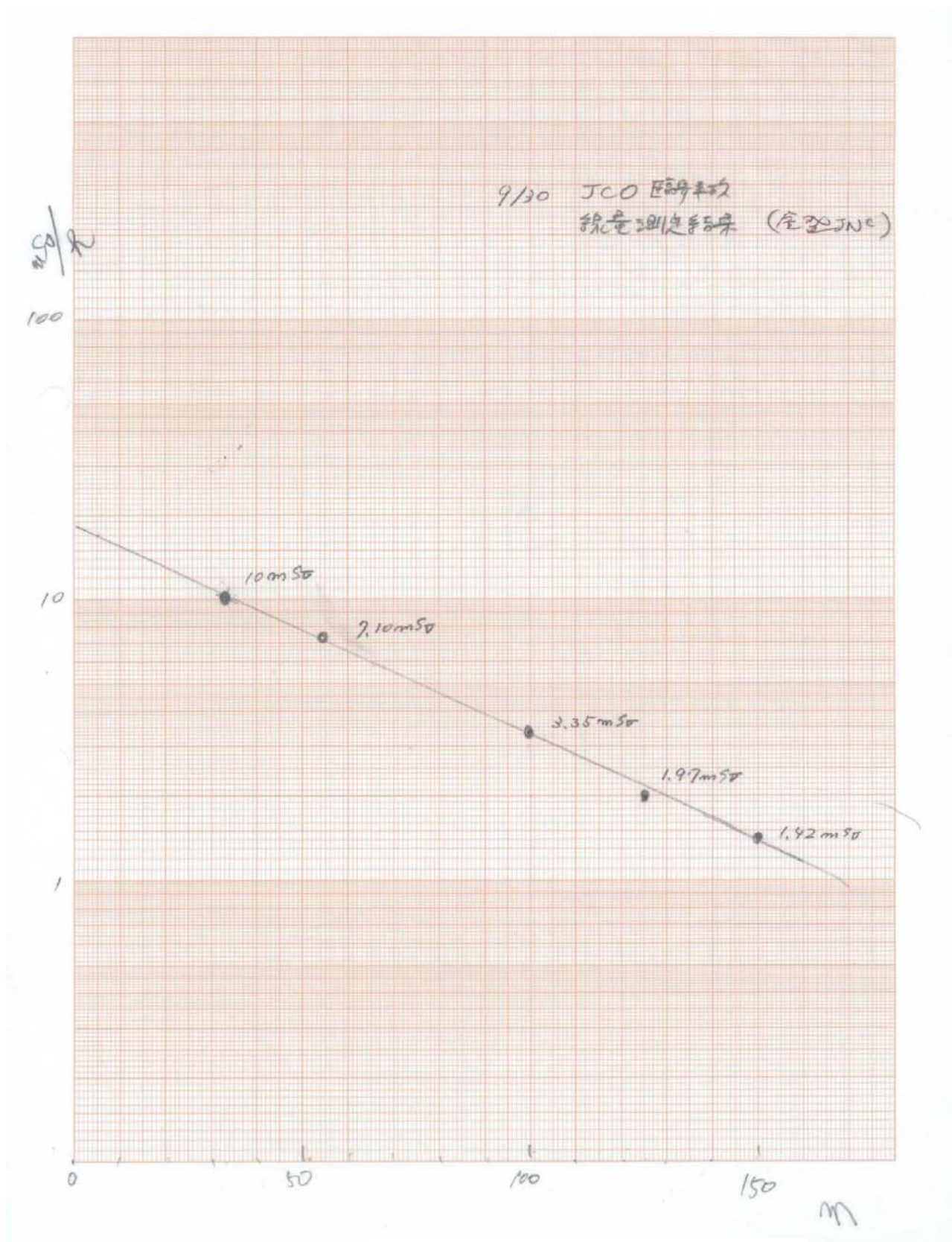
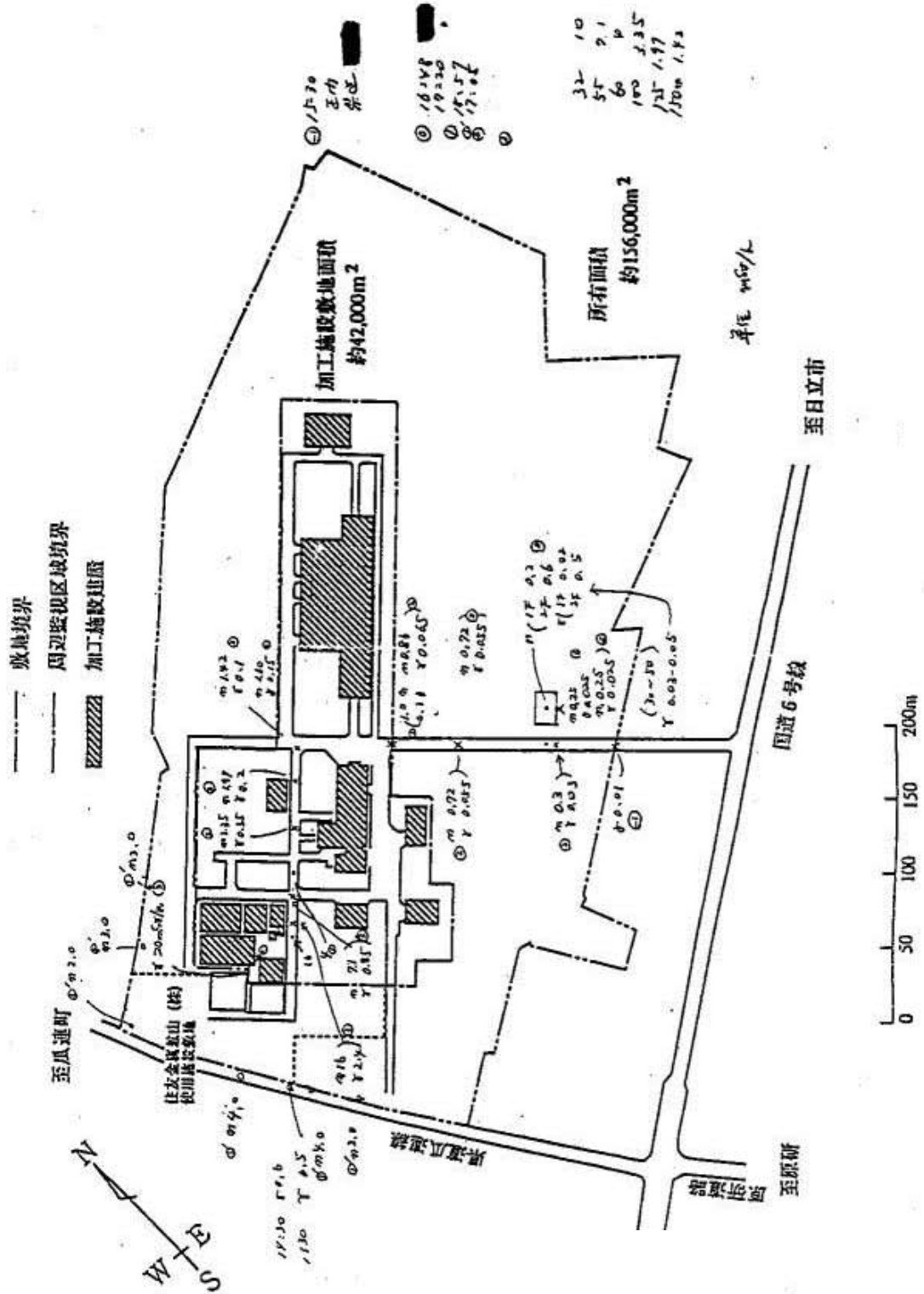


Fig.8 中性子プロット図



加工施設の敷地境界及び周辺監視区域

Fig.9 沈殿槽周辺の線量測定結果

99.10.1

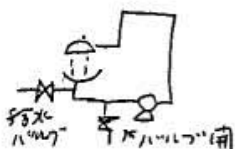
水圧を上げる

(2m50y=4, 2台南+1台南(幸) 3台南)

- ① 水圧を上げる 2=35 2=38 3/8
- ② 2=7.15 m 91.2 m50 12.7
- ③ 2=7.87 m 11.9 m50 14.2
- ④ 水圧を上げる
- ⑤ 11m7台南
- ⑥ 11m7台操作不手

⑦ 水圧を上げる

- ⑧ 2=オンを上げ外し - 水圧を上げる確認
- ⑨ 水圧を上げる (3:22 → 3:25)



- ⑩ 2=オンを上げ外し - 水圧を上げる確認
- ⑪ 2=オンを上げ外し
- ⑫ 2=オンを上げ外し
- ⑬ 2=オンを上げ外し
- ⑭ 2=オンを上げ外し

- ⑮ 2=オンを上げ外し
- ⑯ 2=オンを上げ外し
- ⑰ 2=オンを上げ外し
- ⑱ 2=オンを上げ外し

- ⑲ 2=オンを上げ外し
- ⑳ 2=オンを上げ外し
- ㉑ 2=オンを上げ外し
- ㉒ 2=オンを上げ外し

- ㉓ 2=オンを上げ外し
- ㉔ 2=オンを上げ外し
- ㉕ 2=オンを上げ外し
- ㉖ 2=オンを上げ外し

Fig.10 作業班工程

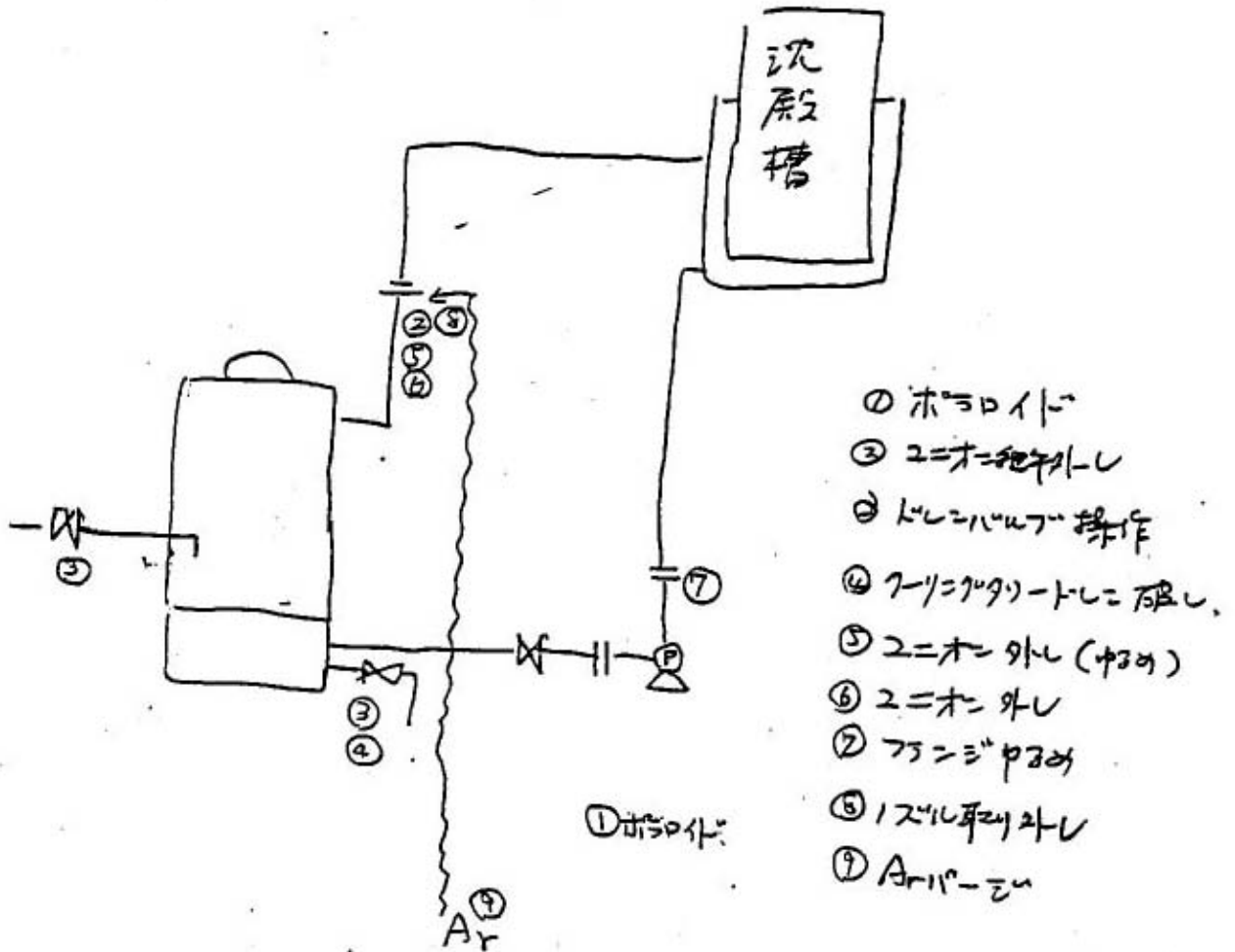


Fig.11 沈殿槽系統図

冷却塔



Fig.12 ポラロイド写真

1999. 10. 01 冷却水抜き取り作業について

時間	作業及び運転者名		作業者1被曝線量		作業者2被曝線量		運転者被曝線量		作業内容			
	出発	戻り	作業者1	作業者2	運転者	y	n1	n2		y	n1	n2
1	2:35	2:38	A	B	S	7.15	91.20	7.87	11.92 44.00	0.045	0.65	ボラロイド3枚撮影
2	3:01	3:03	C	D	T	2.465	38.20	2.282	28.36	0.036	0.81	ポンプ運転中を確認
3	3:22	3:25	E	F	S	1.437	19.49	1.696	28.42	0.050	0.79	水抜きバルブ開、給水バルブ閉
4	3:48	3:59	G	H	作業者	0.002	0.04	0.002	0.05	0.04	0.04	工務課よりハンマー持ち出し
5	4:16	4:19	I	J	U	3.835	49.80	4.382	59.46	0.028	0.66	クーリングダクト下箱配管ハンマーにて開通
6	4:41	4:43	K	L	U	5.47	61.9	5.73	67.9	0.035	0.64	ユニオン抜き手締めゆるめ
7	4:59	5:02	M	N	U	4.24	61.34	6.236	47.05	0.035	0.60	ユニオン下箱開ち締め
8	5:19	5:22	O	P	U	3.923	42.79	5.346	38.6なし	0.035	0.59	フランジボルト4本ゆるめ
9	5:44	5:46	FI	Q	U	3.228	38.12	2.946	43.17	0.024	0.59	ノズル取り付け
10	6:00	6:04	R	G	U	2.322	36.73	0.169	2.13	0.014	0.39	A rバーシ、水抜き確認(0.04)

※1 被曝線量は換算値、単位mSv

※2 n1及びn2は、中性子線を線量計ダブリンで測定

Fig.13 各班員線量表

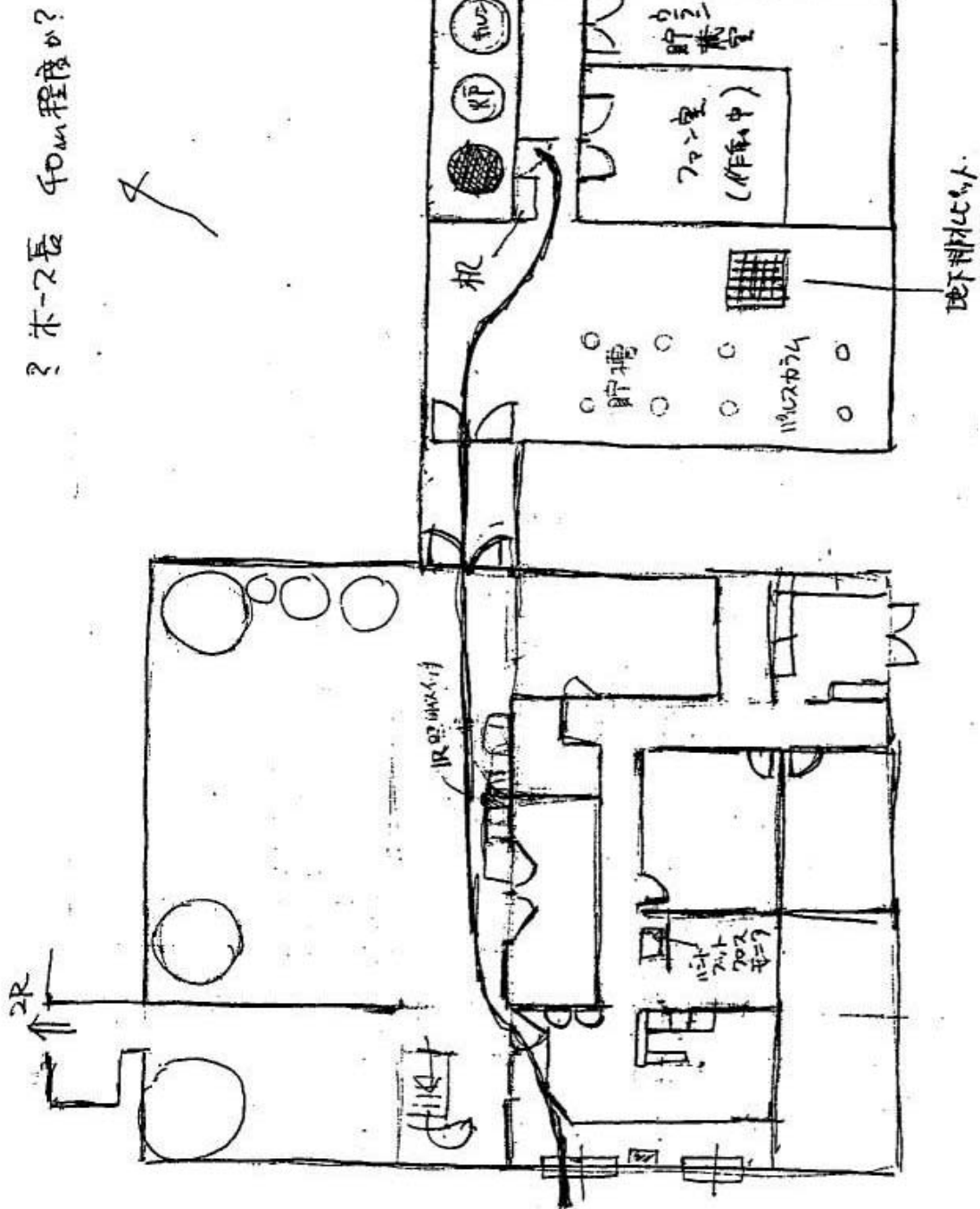


Fig.14 ホウ酸水注入ルート図

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比誘電率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光束流	ルーメン	lm	cd sr ^(f)
放射線量の放射能 ^(g)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー一分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(e)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報を付たえるために入れられる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で "radioactivity" と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70.205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m s ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m s ⁻¹ s ⁻² = s ⁻³
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼン	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	yocto	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクターール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バトン	b	1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
ステルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガール	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ₀ =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3系系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「=」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 m ³ 系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1858 J (15°C) カロリー), 4.1868 J (IT) カロリー), 4.184 J (熱化学) カロリー)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

