

平成 2 8 年度

管理型処分技術調査等事業

原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

報告書

平成 2 9 年 3 月

(株)日本製鋼所

(株)神戸製鋼所

－ 目 次 －

1. 事業概要	1
1.1 目的	1
1.2 全体概要	1
2. 全体計画の策定	3
2.1 概要	3
2.2 再利用プロセスの開発	3
2.2.1 開発する容器の要件・基準の整理	3
2.2.2 基礎試験の実施	3
2.2.3 再利用プロセスの開発	4
2.2.4 全体工程	5
2.3 再利用プロセスの評価	6
2.3.1 全体工程	6
3. 再利用プロセスの開発	7
3.1 概要	7
3.2 平成 28 年度の成果	8
3.2.1 開発する容器の要件・基準の整理	8
3.2.2 基礎試験の実施	8
3.2.3 再利用プロセスの開発	59
4. 再利用プロセスの評価	62
4.1 概要	62
4.2 実証試験の実施	62
4.2.1 地元関係者への事前説明	62
4.2.2 クリアランス金属輸送実績	62
4.2.3 実証試験結果	73
4.2.4 工場設備等への影響調査	104
4.2.5 室蘭市モニタリングポストの状況	115
4.2.6 クリアランス金属を用いた試作品公開	117
4.3 実証試験結果のまとめ	119
参考文献	120

添付資料

1. 事業報告会実施結果
2. 事業報告会における来場者アンケート結果
3. 事業報告会でいただいた主なご質問と回答
4. コベルコ科研 分析結果報告 クリアランス分析

－ 表 目 次 －

表 2.2.4-1	再利用プロセスの開発全体工程.....	5
表 2.3.1-1	再利用プロセスの評価全体工程.....	6
表 3.2.2-1	試験材の主要化学成分の狙い値 (wt%)	9
表 3.2.2-2	試験材の不純物成分の狙い値 (wt%)	9
表 3.2.2-3	供試材の化学成分 (溶鋼分析値) (wt%)	10
表 3.2.2-4	引張および硬さ試験結果.....	11
表 3.2.2-5	シャルピー試験結果.....	13
表 3.2.2-6	供試材の化学成分 (wt%)	14
表 3.2.2-7	溶接条件.....	17
表 3.2.2-8	試験内容一覧	17
表 3.2.2-9	静的引張試験結果 (試験速度：破断まで 3mm/min 一定)	24
表 3.2.2-10	高速引張試験結果	25
表 3.2.2-11	母材および蓋溶接金属の α と β	26
表 3.2.2-12	-20℃の静的引張試験から求めたひずみ硬化係数	26
表 3.2.2-13	解析ケース	31
表 3.2.2-14	溶接未溶着部の K 値解析結果	47
表 3.2.2-15	各ケースの脆性破壊評価.....	51
表 3.2.2-16	供試材	53
表 3.2.3-1	化学成分.....	60
表 3.2.3-2	機械的性質.....	60
表 4.2.2-1	専用容器詰め替え後のクリアランス金属表面線量当量率測定結果	63
表 4.2.2-2	ゲートモニター通過時の線量当量率測定結果 (原電)	65
表 4.2.2-3	輸送船内の線量当量率測定結果.....	68
表 4.2.2-4	放射線測定器の仕様.....	68
表 4.2.2-5	ゲートモニター通過時の線量当量率測定結果 (日鋼)	70
表 4.2.2-6	保管場所の線量当量率測定結果.....	70
表 4.2.2-7	専用容器内のクリアランス金属表面の測定結果.....	72
表 4.2.3-1	製造物一覧.....	73
表 4.2.3-2	製造物以外のアイテムリスト	75
表 4.2.3-3	溶鋼の鋳込み成分 (wt%)	79
表 4.2.3-4	溶鋼の不純元素の実績値(wt%).....	79
表 4.2.3-5	補修溶接条件	82
表 4.2.3-6	試験の種類及び試験片形状	82
表 4.2.3-7	材料試験結果 (調質後、引張試験・ブリネル硬さ測定)	83
表 4.2.3-8	材料試験結果 (溶接後熱処理後、引張試験・ブリネル硬さ測定)	83
表 4.2.3-9	衝撃試験試験結果 (調質後、符号 01)	84

表 4.2.3-10	衝撃試験試験結果（調質後、符号 02）	84
表 4.2.3-11	衝撃試験試験結果（調質後、符号 03）	85
表 4.2.3-12	衝撃試験試験結果（調質後、符号 04）	85
表 4.2.3-13	衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 01）	86
表 4.2.3-14	衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 02）	86
表 4.2.3-15	衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 03）	87
表 4.2.3-16	衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 04）	87
表 4.2.3-17	溶接手順試験の施工パラメータ	91
表 4.2.3-18	溶接手順試験結果	92
表 4.2.3-19	放射能測定結果（単位：Bq/g）	93
表 4.2.3-20	製品化学分析結果（wt%）	93
表 4.2.3-21	製品化学分析結果（不純元素（wt%））	94
表 4.2.3-22	製品化学分析結果（不純元素（wt%））	94
表 4.2.3-23	各部の化学成分（wt%）	95
表 4.2.3-24	各部の化学成分（不純元素）（wt%）	96
表 4.2.3-25	各部の材料試験結果（引張試験・ブリネル硬さ測定）	96
表 4.2.3-26	衝撃試験試験結果（表層・上部）	97
表 4.2.3-27	衝撃試験試験結果（表層・中部）	97
表 4.2.3-28	衝撃試験試験結果（表層・下部）	98
表 4.2.3-29	衝撃試験試験結果（表層・底部）	98
表 4.2.3-30	衝撃試験試験結果（中央・上部）	99
表 4.2.3-31	衝撃試験試験結果（中央・中部）	99
表 4.2.3-32	衝撃試験試験結果（中央・下部）	100
表 4.2.3-33	衝撃試験試験結果（中央・底部）	100
表 4.2.3-34	各部の密度測定結果（比重：g/cm ³ ）	103
表 4.2.3-35	放射能測定結果（単位：Bq/g）	103
表 4.2.4-1	放射線測定結果（設備：製鋼工場）	112
表 4.2.4-2	放射線測定結果（設備：鑄造工場）	112
表 4.2.4-3	放射線測定結果（設備：熱処理工場）	112
表 4.2.4-4	放射線測定結果（設備：機械工場）	113
表 4.2.4-5	放射線測定結果（製品由来地金：鑄造工場）	113
表 4.2.4-6	放射線測定結果（製品由来地金：機械工場）	113
表 4.2.4-7	放射線測定結果（発生物：製鋼工場）	113
表 4.2.4-8	放射線測定結果（発生物：熱処理工場）	113
表 4.2.4-9	放射線測定結果（発生物：鑄造工場）	114
表 4.2.4-10	放射線測定結果（発生物：鑄造工場）	114
表 4.2.4-11	放射線測定結果（発生物：機械工場）	114

－ 図 目 次 －

図 3.2.2-1	熱処理シミュレーション条件	9
図 3.2.2-2	ミクロ組織観察	12
図 3.2.2-3	不純物含有量と・20℃シャルピー吸収エネルギーの関係	13
図 3.2.2-4	溶接試験体:(a)補修溶接模擬試験体、(b)蓋溶接模擬試験体	15
図 3.2.2-5	溶接後の試験体概観写真:(a)補修溶接模擬試験体、(b)蓋溶接模擬試験体	16
図 3.2.2-6	静的引張試験片	17
図 3.2.2-7	高速引張試験片	18
図 3.2.2-8	シャルピー試験片採取要領のイメージ	19
図 3.2.2-9	母材の破壊靱性試験片	20
図 3.2.2-10	蓋溶接未溶着ままの破壊靱性試験片	20
図 3.2.2-11	蓋溶接および補修溶接の HAZ と溶接金属の破壊靱性試験片	21
図 3.2.2-12	図 3.2.2-11 の試験片の採取要領イメージ	21
図 3.2.2-13	静的破壊靱性試験の試験要領	22
図 3.2.2-14	動的破壊靱性試験の試験要領（恒温槽で冷却後取り出して速やかに試験）	22
図 3.2.2-15	静的破壊靱性試験の試験要領（模式図）	23
図 3.2.2-16	動的破壊靱性試験の荷重計測ゲージ	23
図 3.2.2-17	静的引張試験での 0.2%耐力の温度依存性	24
図 3.2.2-18	0.2%耐力のひずみ速度依存性	25
図 3.2.2-19	母材と蓋溶接金属の・20℃での真応力・対数ひずみ線図	27
図 3.2.2-20	蓋溶接および補修溶接部の吸収エネルギーの平均値の比較	27
図 3.2.2-21	静的破壊靱性試験結果（B=70mm に統一）	28
図 3.2.2-22	動的破壊靱性試験結果（B=70mm に統一）	29
図 3.2.2-23	破壊靱性値（B=70mm に統一）と K 値変化速度の関係	29
図 3.2.2-24	50mm 厚内容器：ケース A	31
図 3.2.2-25	200mm 厚内容器：ケース B	32
図 3.2.2-26	50mm 厚内容器（角 R 変更）：ケース C	32
図 3.2.2-27	ケース A 落下解析モデル	33
図 3.2.2-28	ケース B 落下解析モデル	34
図 3.2.2-29	ケース C 落下解析モデル	35
図 3.2.2-30	ケース A K 値解析モデル	37
図 3.2.2-31	ケース B K 値解析モデル	38
図 3.2.2-32	ケース C K 値解析モデル	39
図 3.2.2-33	ケース A 拘束条件	40
図 3.2.2-34	ケース B 拘束条件	41
図 3.2.2-35	ケース C 拘束条件	42
図 3.2.2-36	ケース A 解析結果	43

図 3.2.2-37 ケース B 解析結果.....	44
図 3.2.2-38 ケース C 解析結果.....	45
図 3.2.2-39 3つの基本変形モード.....	46
図 3.2.2-40 混合モード（Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ）のき裂先端近傍の応力場.....	47
図 3.2.2-41 衝撃落下解析の応力場による K 値（ケース A）.....	48
図 3.2.2-42 衝撃落下解析の応力場による K 値（ケース B）.....	49
図 3.2.2-43 衝撃落下解析の応力場による K 値（ケース C）.....	50
図 3.2.2-44 想定欠陥.....	52
図 3.2.2-45 母材の鋳造欠陥から脆性破壊強度評価.....	52
図 3.2.2-46 供試材の破面 SEM 観察結果.....	55
図 3.2.2-47 供試材の破面断面のミクロ組織観察結果.....	56
図 3.2.2-48 供試材の非金属介在物の個数と試験片のシャルピー吸収エネルギーの関係.....	57
図 3.2.2-49 自動 EDS 粒子解析による供試材の非金属介在物組成分析結果.....	58
図 4.2.2-1 専用容器詰め替え後のクリアランス金属表面線量当量率測定箇所.....	63
図 4.2.2-2 専用容器を載せたトラックの様子.....	64
図 4.2.2-3 専用容器 8 箱持ち込んだ様子（平成 28 年 6 月 29 日）.....	66
図 4.2.2-4 専用容器 6 箱持ち込んだ様子（平成 28 年 6 月 30 日）.....	66
図 4.2.2-5 輸送船内の線量当量率測定箇所.....	66
図 4.2.2-6 クリアランス金属積込後の輸送船内の線量当量率測定の様子.....	67
図 4.2.2-7 クリアランス金属搬入時の立会いの様子.....	69
図 4.2.2-8 測定地点 1 及び測定地点 2 と保管場所との関係.....	71
図 4.2.2-9 室蘭市の放射線モニタリングポスト線量当量率.....	71
図 4.2.2-10 専用容器内のクリアランス金属表面の測定箇所.....	72
図 4.2.3-1 製造物（符号 01～符号 05）.....	74
図 4.2.3-2 クリアランス金属の化学成分の分布（70 検体）.....	75
図 4.2.3-3 鋳放し、湯道切断、砂落とし状況.....	80
図 4.2.3-4 調質線図.....	81
図 4.2.3-5 応力除去焼きなまし(SR)線図.....	81
図 4.2.3-6 調質後の顕微鏡組織.....	88
図 4.2.3-7 溶接後熱処理(SR)後の顕微鏡組織.....	89
図 4.2.3-8 溶接試験板の寸法と試験片板取.....	90
図 4.2.3-9 本体 C の大割り切断による U 字試材採取方法.....	94
図 4.2.3-10 解体調査試験片採取要領.....	95
図 4.2.3-11 解体調査材各部サンプルの顕微鏡組織.....	101
図 4.2.4-1 全体工程と放射線量測定対象物の関係.....	105
図 4.2.4-2 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：製鋼工場）.....	106
図 4.2.4-3 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：鋳造工場）.....	107
図 4.2.4-4 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：機械工場）.....	107
図 4.2.4-5 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：熱処理工場）.....	108

図 4.2.4-6	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（製品由来地金：鑄造工場）	109
図 4.2.4-7	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（製品由来地金：機械工場）	109
図 4.2.4-8	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：製鋼工場）	109
図 4.2.4-9	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：熱処理工場）	110
図 4.2.4-10	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：鑄造工場）	110
図 4.2.4-11	クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：機械工場）	111
図 4.2.5-1	室蘭市の放射線モニタリングポストと製鋼工場、鑄造工場の位置関係	115
図 4.2.5-2	溶解・精錬・鑄込み時のモニタリングポスト線量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	116
図 4.2.5-3	室蘭市空間線量当量率と降雨の関係	116
図 4.2.6-1	クリアランス金属試作品の完成立会いの様子	117
図 4.2.6-2	クリアランス金属試作品の線量当量率測定結果	118

1. 事業概要

1.1 目的

運転を終了した原子力発電所の廃止措置では、クリアランスレベル以下の金属廃棄物（放射能が低く再利用が可能な金属廃棄物、以下、クリアランス金属廃棄物という。）が大量に発生することが予想されている。平成 17 年の原子炉等規制法の改正において、クリアランス制度が導入されたことを受けて、原子力発電所の廃止措置により発生する廃棄物において、クリアランスレベル以下であることの検認を経た上で再利用可能とされている。しかし、現時点での発生量・リサイクルの実績が少ないことや、クリアランス制度への国民の理解促進が不十分であること等により、今までに一般市場に十分に流通されてはいない。

一方、平成 26 年 4 月に閣議決定されたエネルギー基本計画においては、今後増加する廃止措置を円滑に進めることや、廃止措置の円滑な実現に向けた研究開発を進めること等が示されており、今後原子力発電所の廃止措置が本格的に開始される前に、クリアランス金属廃棄物の再利用の実現可能性について見通しを得ておくことは、我が国における円滑な廃止措置計画の策定に大きく貢献すると考えられる。具体的には、金属廃棄物の再利用により、廃止措置時の解体工事を解体物の処理に困ることなく円滑に進めることができ、かつ資源の有効利用、廃止措置コストの削減・廃棄物の減容化にも貢献するとともに、廃止措置により生じるクリアランス金属の一般への流通促進にも寄与することが期待される。また、廃炉から最終処分に至る過程には、最終処分場が決まっていない場合は、廃止措置によって生じる低レベル放射性廃棄物を一時的に容器保管することも必要となる可能性がある。

これらの状況を踏まえ、原子力発電所等の解体から生じるクリアランス金属廃棄物等を利用し、余裕深度処分を想定した放射線遮へい能力・耐久性を有する金属容器への利用プロセスを技術開発する。開発にあたっては、実際のクリアランス金属廃棄物の実物大の金属容器への再利用により、再利用技術の実現可能性を示す。さらに、本事業後の普及に向けた経済的合理性等に関する検討を行うと共に、成果の公開方法等の検討も行う。

1.2 全体概要

運転を終了した原子力発電所の円滑な廃止措置の早期の実現に向けて、3 ヶ年の計画で進める。

廃止措置においては、様々な金属や不純物を含むスクラップが大量に発生することが予想される。雑多なスクラップを原料として再利用する場合、放射線遮へい能力及び耐久性といった所定の品質を有する製品の製造が容易でないことから、スクラップを用いて所定の品質を達成するための再利用技術開発が必要となる。

ここでは、低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器を対象に再利用技術を開発するが、最初に、金属容器の使用環境（地上輸送・地上保管・余裕深度処分環境等）や適用法令等を整理して、製造する金属容器に求められる技術要件を明確にする。そして、廃止措置で発生するスクラップの性状及び量を調査して、各スクラップを適切に分別・回収・保管する方法、製造工場における原料の配合方法、精錬(原料を溶解したのち不純物を除去すること)方法からなる再利用プロセスを開発する。

次に、実際のクリアランス金属廃棄物等を用いた実物大の金属容器を試作する実証試験を通じ

て、製造工程中の設備への影響を把握すると共に、試作した金属容器の放射線遮へい能力や耐久性の確認を行うことにより、開発した再利用プロセスの評価を行う。

さらに、再利用技術の開発、実証を通じてクリアランス金属廃棄物の再利用における放射線影響を確認し、これらの結果の公開等を通じた国民の理解促進や安心感を得るための取り組み方策について、再利用プロセスの開発、評価の成果を踏まえ、3 年目に外部の専門家・有識者等で構成する委員会で検討する。あわせて、開発した技術の利用促進に向け経済的合理性に関する検討を行う。

2. 全体計画の策定

2.1 概要

本開発では、運転を終了した原子力発電所の円滑な廃止措置の早期の実現に向け、原子力発電所の廃止措置によって発生する、クリアランスレベル以下であることの検認を経た上で再利用可能とされた金属スクラップを用いて、余裕深度処分を想定した放射線遮へい能力、耐久性を有する金属容器の利用プロセスの技術開発を行う。このとき、廃止措置によって生じる低レベル放射性廃棄物を一時的に容器保管することも考慮した金属容器とする。

開発は、以下について3ヵ年の計画で進める予定で実施中である。

- ① 再利用プロセスの開発
- ② 再利用プロセスの評価

2.2 再利用プロセスの開発

再利用プロセスの開発では、以下の検討を行う。

- ① 開発する容器の要件・基準の整理
- ② 基礎試験の実施
- ③ 再利用プロセスの開発

2.2.1 開発する容器の要件・基準の整理

廃止措置により発生するスクラップは、鋼種により含有する不純物濃度が異なる。このとき、不純物が多い鋼種を原料とするほど製造した金属容器の耐久性が悪化すると考えられる。このため、一定の品質の金属容器（廃止措置により生じる低レベル放射性廃棄物を一時的に保管する容器（内容器））をクリアランス金属廃棄物で製造する場合は、性状の異なるスクラップ同士をどのように配合して不純物の偏りを平均化するか、溶解炉で溶かしたスクラップをどのように精錬して不純物を除去するのか、等が開発のポイントとなる。このため、クリアランス金属廃棄物の鋼種及び鋼種ごとの発生量等の情報が再利用プロセスを開発する上で重要となる。また、製造プロセスや設備規模を検討する上で、クリアランス金属廃棄物の発生量と、廃棄物を収納する内容器の必要量から評価される需給バランスを検討する必要がある。このため、想定されるクリアランス金属廃棄物の鋼種及び発生量を調査する。

また、金属廃棄物に収納する低レベル放射性廃棄物の性状（放射能レベル、発生量）、内容器の使用環境（発電所内でのハンドリング、地上保管・輸送、余裕深度処分環境等）、及び適用法令等を調査して、内容器に求められる技術要件を整理する。

これらの整理は、開発1年目である平成27年度に実施し、予定通り終了した。

2.2.2 基礎試験の実施

前項で整理されたクリアランス金属の種類から、技術要件を満足する内容器を製造するための検討・評価が必要となる。これらの評価のために、基礎試験を実施する。

ここでは、平成27年度の成果をもとに、以下の通り基礎試験を実施する。

(1) 許容される不純物含有量の検討

平成 27 年度には、低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件を明確にし、そのために必要となる材料特性を基礎試験により評価した。

金属容器に求められる耐久性（靱性）を検討し、金属の靱性値に大きな影響を及ぼすとされる不純物成分、リン（P）、硫黄（S）、錫（Sn）及び銅（Cu）について、鋳鋼品の耐久性（靱性）への影響を定量的に把握した。

しかし、鋳鋼品の耐久性（靱性）への影響は、各不純物成分が単独で存在した場合と、複数存在した場合には、影響の度合いが異なる場合があると考えられた。

平成 28 年度は、影響を及ぼすことのできた P、S、Sn 及び Cu について、その 2 成分の組合せで不純物含有量による鋳鋼品の耐久性（靱性）への影響を定量的に把握する。

実験室規模で市販の金属を配合、精錬して、意図的に不純物含有量の異なる試験片を複数製作する。製作した試験片は実製品を模擬した熱処理シミュレーションを実施した後、機械的試験を行って材料データを取得する。この評価結果をもとに、金属容器の耐久性（靱性）の確保、製造条件の整備の観点で、許容される不純物含有量を検討する。

(2) 耐久性（靱性）の妥当性評価

平成 27 年度は、金属容器に最も厳しい衝撃を与えると考えられる落下事象を汎用の解析コードを用いて解析し、金属容器に発生する衝撃値を予想して、試験で評価検討した耐久性（靱性）が妥当であることを評価した。

平成 28 年度は、実際の取扱いを考慮した解析を行い、耐久性（靱性）の評価を行う。

2.2.3 再利用プロセスの開発

(1) 内容器の設計

実際のクリアランス金属廃棄物を用いた実物大の内容器を試作する実証試験に向けて、内容器の設計を行う必要がある。

平成 27 年度は、収納する低レベル放射性廃棄物の性状等から、求められる遮へい厚さ（内容器の肉厚）、また、すでに検討されている内容器を収納する処分容器の形状等から、内容器の設計を行った。

平成 28 年度は後述する実証試験において、ここで設計を行った内容器について試作する。

(2) 材料規格案の策定

基礎試験の結果によるが、内容器に求められる材料規格は、現在日本工業規格（JIS）に規定されている鋳鋼材料とは異なる可能性が考えられる。このため、内容器にクリアランス金属廃棄物を使用して製造するためには、得られた材料組成、材料特性等を規格化する必要がある。ここでの材料規格案は、低レベル放射性廃棄物の内、余裕深度処分（L1）用の処分容器の遮へい体の材料規格を対象とするものとする。

そこで、各開発結果から、所定の性能を満足するための内容器の材料規格案を策定する。平成 27 年度は、基礎試験により材料規格案で規定が必要と考えられる不純物などの検討を行っ

た。

平成 28 年度は、策定する材料規格案について、規格案の構成項目、及びその適用範囲などについて検討を行う。また、引続き基礎試験結果から不純物濃度などの検討を行う。化学成分や熱処理、材料スペックとするのか、プロセスや検査までの規定するのか等、その範囲について検討を行う。それらよりさらに必要と考えられるデータなどについて検討する。

これらの結果を踏まえて、平成 29 年度に基礎試験により材料規格案の構築に必要なデータを取得すると共に、最終的な材料規格案を整理する予定である。

(3) 再利用プロセスの開発

以上の成果より、クリアランス金属廃棄物の内容器への再利用のためのプロセスの開発を行う。原子力発電所の廃止措置に伴い発生するクリアランス金属廃棄物を適切に回収・分別・保管する方法、内容器の製造工場における原料となるクリアランス金属廃棄物等の配合方法、精錬（原料を溶解した後不純物を除去する）方法からなる再利用プロセスを開発する。なお、この開発は平成 28 年度までの各開発成果を踏まえて、平成 29 年度に実施する予定である。

2.2.4 全体工程

前項までに示した再利用プロセスの開発における各実施内容について、全体工程を表 2.2.4-1 に示す。

表 2.2.4-1 再利用プロセスの開発全体工程

	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
1. 開発の前提条件の調査、整理	→		
2. 基礎試験の実施	→	→	→
3. 再利用プロセスの開発			
① 内容器の設計	→		
② 材料規格案の策定 ・ 規格案のイメージの提示 ・ 規格案の提示 ・ 規格案の策定	→	→	→
③ 再利用プロセスの開発			→

2.3 再利用プロセスの評価

再利用プロセスの評価では、以下の①～③の検討を行う。①及び③の経済性評価方法の検討に関しては平成 27 年度に実施済みであり、平成 28 年度は②を行う。平成 29 年度は予定通り、経済的合理性に関する評価を行う予定である。

- ① 実証試験計画の策定
- ② 実証試験の実施
- ③ 再利用プロセスの評価

2.3.1 全体工程

前項までに示した再利用プロセスの評価における各実施内容について、全体工程を表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1 再利用プロセスの評価全体工程

	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
1. 実証試験計画の策定	→		
2. 実証試験の実施		→	
3. 再利用プロセスの評価			
① 経済性評価方法の検討	→		
② 経済性評価			→

3. 再利用プロセスの開発

3.1 概要

スクラップは鋼種により含有する不純物濃度が異なるが、不純物が多い鋼種を原料にするほど製造した金属容器の耐久性が悪化する。よって、一定の品質の金属容器（廃止措置によって生じる低レベル放射性廃棄物を一時的に保管する容器（内容器））をクリアランス金属廃棄物で製造する場合は、性状の異なるスクラップ同士を配合して不純物の偏りを平均化するか、溶解炉で溶かしたスクラップをどのように精錬して不純物を除去するかが開発のポイントとなる。このため、クリアランス金属廃棄物の鋼種、及び鋼種ごとの発生量等の情報が再利用プロセスを開発する上で必要となる。また、製造プロセスや設備規模を検討する上で、クリアランス金属廃棄物の発生量と、廃棄物を収納する内容器の必要量から評価される需給バランスを考慮する必要がある。このため、想定されるクリアランス金属廃棄物の鋼種及び発生量を調査する。また、内容器に収納する低レベル放射性廃棄物の発生量から想定される必要な内容器数、内容器の使用環境（地上輸送・地上保管・余裕深度処分環境等）及び適用法令等を調査して、内容器に求められる技術要件を整理する。

上記において整理されたクリアランス金属廃棄物の種類及び内容器の技術要件を満足する材料を検討、評価するため、基礎試験を実施する。これらの検討・評価の結果に基づき金属容器の材料規格案を策定する。

また、実際のクリアランス金属廃棄物を用いた実物大の内容器を試作する実証試験に向けて、内容器の設計を行う。想定されるクリアランス金属廃棄物の鋼種及び発生量の調査や、金属容器に求められる技術要件の調査結果から、内容器の形状等の設計を行う。

平成 27 年度は、想定されるクリアランス金属廃棄物の鋼種及び発生量を調査した。また、内容器に収納する低レベル放射性廃棄物の発生量から想定される必要な内容器数、内容器の使用環境（地上輸送・地上保管・余裕深度処分環境等）及び適用法令等を調査して、内容器に求められる技術要件を整理した。さらに、これらの結果から、実際のクリアランス金属廃棄物を用いた実物大の内容器を試作する実証試験に向けて、内容器の設計を行った。併せて、基礎試験を実施し、材料に含まれる不純物濃度の内容器の性状について評価を行い、主に硫黄（S）及びリン（P）濃度が重要であることが分かった。また、使用環境を模擬して落下解析を行い、クリアランス金属廃棄物を用いた遮へい体としての内容器が、実現可能と考えられることが示された。

平成 27 年度の結果により、内容器の材料特性に対して主に硫黄（S）及びリン（P）濃度が重要であることが分かったが、それらの組合せによる影響について評価する必要があると考えられた。ここでは、この組合せによる影響について基礎試験を実施し評価する。

また、これらの結果から、材料規格案の適用範囲など、その概要を整理する。

3.2 平成 28 年度の成果

3.2.1 開発する容器の要件・基準の整理

(1) 概要

平成 27 年度に、開発する容器の要件・基準の整理を行った。収納する低レベル放射性廃棄物の性状等から、求められる遮へい厚さ（内容器の肉厚）の検討などを行った。

ここで、必要となる内容器として、収納する廃棄物の遮へい上の必要性から肉厚が 50mm～250mm（50mm ピッチ）のものについて設計を行った。

(2) 調査結果

平成 27 年度に行った内容器に収納する低レベル廃棄物の性状調査の結果から、求められる遮へい厚さとしては、50mm～300mm が必要とされ、処分容器自身が 50mm の遮へい体となることから、内容器は 50mm～250mm の遮へい体としての役割が必要となると考えられた。

この容器肉厚について、基礎試験などでの評価においては、その重要性、金属の性状への影響などから、50mm、100mm、150mm、及び 200mm の肉厚のものについて評価を行うこととした。

3.2.2 基礎試験の実施

(1) 許容される不純物含有量の検討

1) 目的

平成 27 年度に不純物成分であるリン（P）、硫黄（S）、錫（Sn）及び銅（Cu）と鑄鋼品の低温衝撃特性の関係を定量的に評価し、P および S の含有が低温衝撃値に大きな影響を及ぼすことが分かった。しかし、これら各不純性成分が単独で存在した場合と、複数存在した場合には、影響の度合いが異なる場合があると考えられた。

そこで、平成 28 年度は、影響を及ぼすことの分かった P 及び S について、その 2 成分の組合せで、不純物含有量による鑄鋼品の低温衝撃値への影響を定量的に把握する。この評価結果から、金属容器の耐久性（靱性）の確保、製造条件の整備の観点で、許容される不純物含有量を検討する。

2) 試験方法

a. 試験材の製作

平成 27 年度に検討した表 3.2.2-1 に示す 2 種類の鑄鋼品を基準に、不純物濃度が表 3.2.2-2 となるように意図的に不純物元素を添加した試験体を作製した。影響評価の対象とする不純物元素は、Cu と Sn の濃度は平成 27 年度に検討した上限値に固定し、P と S の組合せで 3 通りとした。鑄鋼品の作製は、市中で入手可能な金属を原料として用いて実験室規模の設備で実施した。供試材は真空誘導溶解炉にて 20kg 溶解し、所定の成分となるよう調整した後に鑄造した。

表 3.2.2-1 試験材の主要化学成分の狙い値 (wt%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Al
炭素鋼	0.15	0.40	0.80	0.10*	0.10*	0.03*	0.02
低合金鋼	0.12	0.40	0.90	2.00	0.30	0.15	—

*炭素鋼の Ni, Cr, Mo 量はスクラップからの混入を想定したレベルとした。

表 3.2.2-2 試験材の不純物成分の狙い値 (wt%)

	P	S	Cu	Sn
中 P+中 S	0.025	0.020	0.50	0.030
高 P+中 S	0.040	0.020	0.50	0.030
高 P+低 S	0.040	0.010	0.50	0.030

b. 熱処理

鑄塊から幅 70×長さ 180×厚さ 30mm の試験体をそれぞれ 2 個ずつ採取し、熱処理シミュレーションを実施した。熱処理シミュレーションとは、実機サイズの熱処理を模擬するものであり、試験片が実機の代表する位置の熱履歴（温度や加熱・冷却速度）と同じ熱履歴を与える熱処理のことである。図 3.2.2-1 に熱処理シミュレーション条件を示す。熱処理シミュレーションは、試験体中央に温度管理用の熱伝対を取り付け、所定の温度条件となるよう制御しながら行った。この基礎試験での熱処理の冷却方法は、厚さ 250mm の容器の空冷（冷却速度 1.5℃/min）と水冷（冷却速度 45℃/min）相当の 2 条件とした。なお、ここでの冷却速度は、日本鑄鍛鋼会のデータ集^[1]に収録されている冷却速度速見表を参照した（板厚 T=250, T/4）。

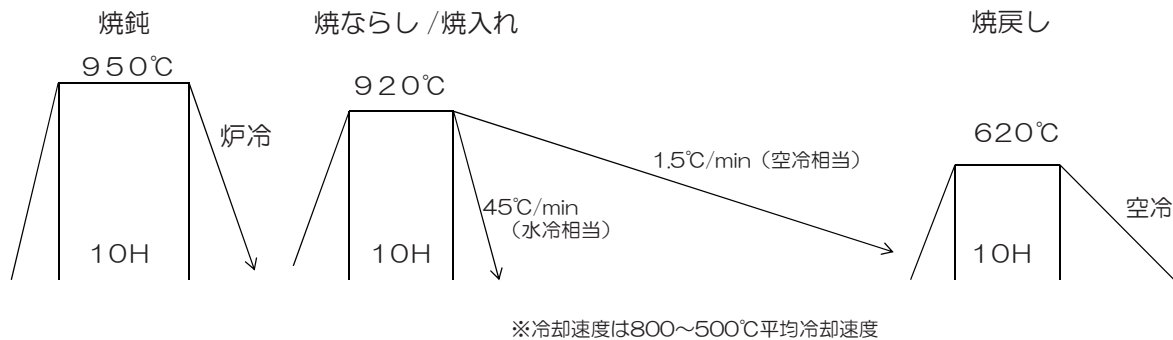


図 3.2.2-1 熱処理シミュレーション条件

c. 材料試験

熱処理後の試験体から、機械的試験用の試験片を採取し、以下に示す試験を実施した。

- 引張試験 (JIS Z 2241 に準拠)
試験片： 14 号 A 試験片 (φ6×30GL mm)
測定項目： 0.2%耐力、引張強度、伸び、絞り
- シャルピー衝撃試験 (JIS Z 2242 に準拠)

試験片： 2mmV ノッチ試験片

測定項目： 吸収エネルギー、延性破面率、延性破面遷移温度（FATT）

※ 試験は-20℃を含む 6 水準の温度にて行い、FATT を求めた。

- ・ ビッカース硬さ試験（JIS Z 2244 に準拠）

試験片： シャルピー試験後の試験片の一つ

測定項目： ビッカース硬さ（荷重 10kgf で測定）

- ・ ミクロ組織観察

試験片： シャルピー試験後の試験片の一つ

測定項目： 代表視野の組織写真撮影

3) 試験結果

a. 溶製結果

表 3.2.2-3 に供試材の化学成分（溶鋼分析値）を示す。また、表 3.2.2-3 には、供試材の炭素当量（Ceq）も併せて示している。炭素鋼、低合金鋼でそれぞれの Ceq はほぼ同じであり、ここでの試験結果は P、S 以外の元素の影響は含まれないと考えられる。

表 3.2.2-3 供試材の化学成分（溶鋼分析値）（wt%）

		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Ceq.
炭素鋼	中 P+中 S	0.14	0.40	0.82	0.11	0.11	0.03	<0.01	0.33
	高 P+中 S	0.14	0.41	0.81	0.11	0.11	0.03	<0.01	0.32
	高 P+低 S	0.14	0.40	0.81	0.11	0.11	0.03	<0.01	0.32
低合金鋼	中 P+中 S	0.12	0.41	0.92	1.99	0.30	0.16	<0.01	0.44
	高 P+中 S	0.11	0.40	0.91	1.99	0.30	0.15	<0.01	0.44
	高 P+低 S	0.12	0.40	0.91	1.99	0.30	0.15	<0.01	0.44

$$\text{Ceq} (\%) = [\text{C}] + [\text{Si}]/24 + [\text{Mn}]/6 + [\text{Ni}]/40 + [\text{Cr}]/5 + [\text{Mo}]/4 + [\text{V}]/14$$

		P	S	Cu	Sn
炭素鋼	中 P+中 S	0.026	0.024	0.50	0.029
	高 P+中 S	0.040	0.019	0.50	0.029
	高 P+低 S	0.043	0.010	0.50	0.029
低合金鋼	中 P+中 S	0.025	0.021	0.51	0.030
	高 P+中 S	0.041	0.017	0.49	0.031
	高 P+低 S	0.042	0.010	0.49	0.029

b. ミクロ試験結果

図 3.2.2-2 にミクロ組織観察結果を示す。炭素鋼は、いずれの条件ともフェライト-パーライト組織であり、冷却速度が速い方が結晶粒径は小さくなっている。一方、低合金鋼では、冷却速度が 1.5℃/min（空冷相当）のときはフェライト-ベイナイト組織、冷却速度が 45℃/min（水冷相当）ではベイナイト主体の組織を呈している。P および S の不純物元素の含有によるミクロ組織の差異は認められない。

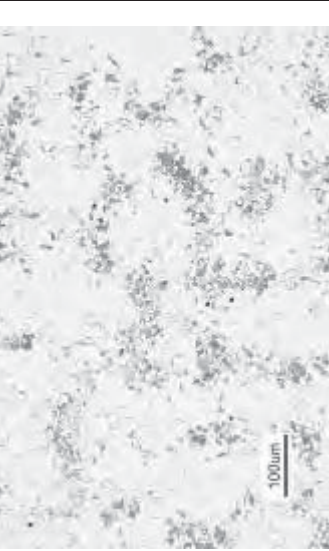
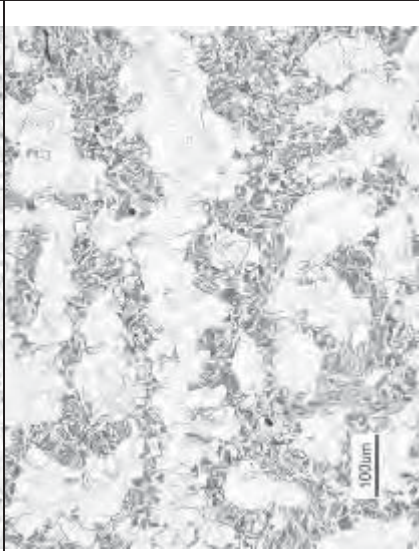
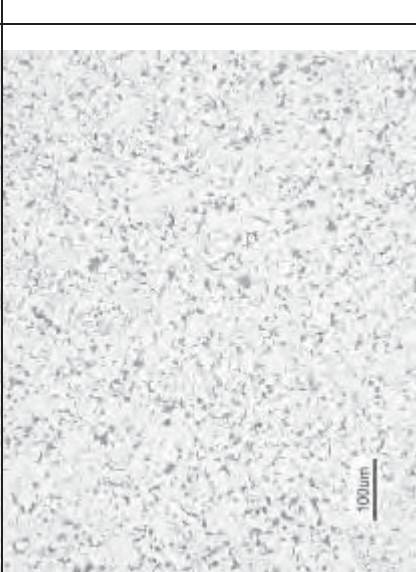
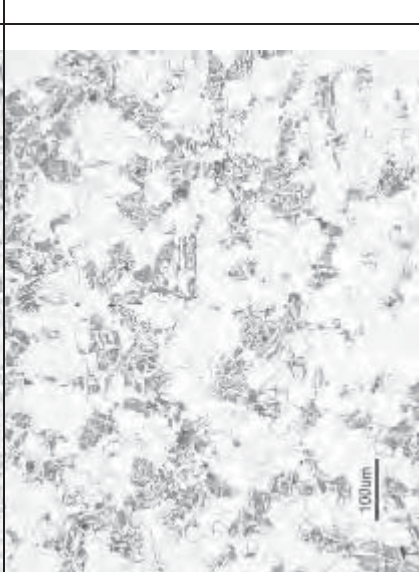
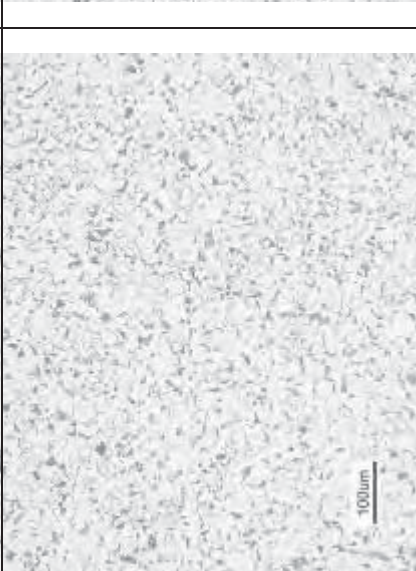
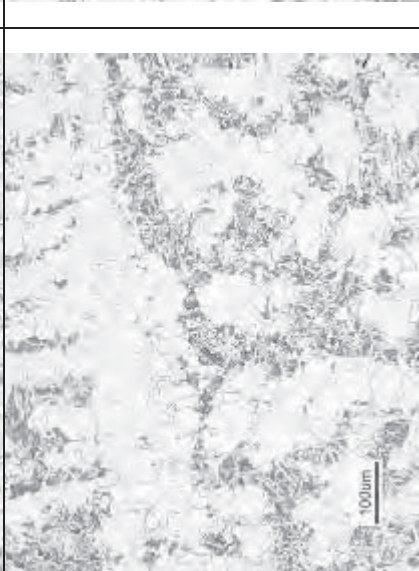
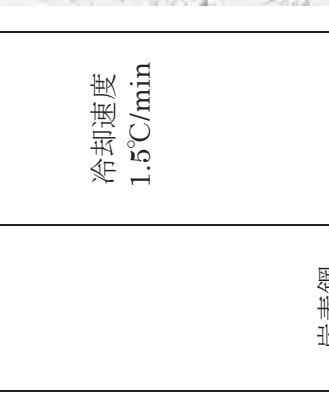
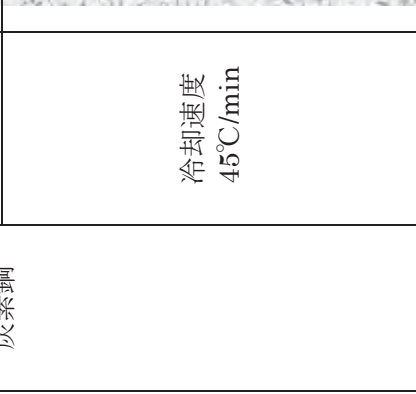
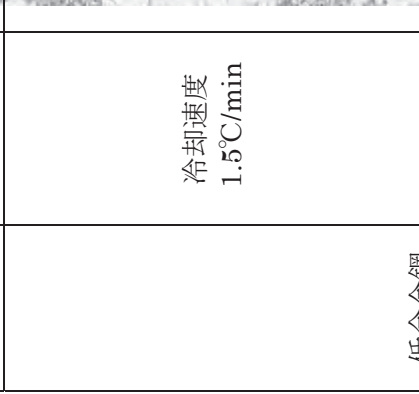
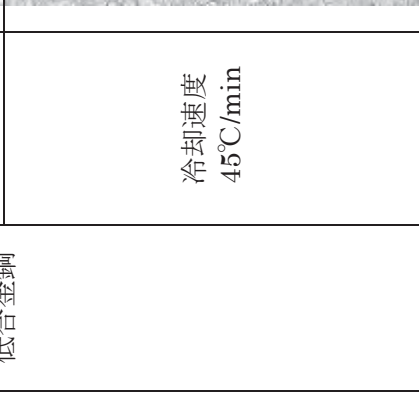
c. 引張試験および硬さ測定結果

表 3.2.2-4 に引張および硬さ試験の結果を示す。炭素鋼は冷却速度による特性変化は小さいが、低合金鋼は冷却速度が速くなるほど強度・硬さの上昇が確認される。これらの結果は、上述した熱処理条件によるミクロ組織の変化に対応している。

表 3.2.2-4 引張および硬さ試験結果

		冷却 速度 (°C/min)	降伏点 又は 0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ HV ₁₀
炭素鋼	中 P+中 S	1.5	329, 337 [333]	475, 459 [467]	30, 17 [24]	52, 34 [43]	135, 135, 140 [137]
		45	339, 339 [339]	489, 489 [489]	34, 30 [32]	59, 51 [55]	142, 143, 142 [142]
	高 P+中 S	1.5	334, 331 [333]	484, 485 [485]	31, 31 [31]	53, 54 [54]	140, 142, 143 [142]
		45	345, 343 [344]	498, 499 [499]	30, 31 [31]	58, 58 [58]	143, 144, 144 [144]
	高 P+低 S	1.5	342, 345 [344]	489, 489 [489]	35, 33 [34]	62, 64 [63]	144, 142, 139 [142]
		45	349, 342 [346]	498, 502 [500]	30, 33 [31]	65, 63 [64]	145, 146, 147 [128]
低合金鋼	中 P+中 S	1.5	404, 415 [410]	549, 565 [557]	25, 25 [25]	55, 60 [57]	175, 175, 168 [173]
		12	492, 473 [411]	621, 606 [614]	21, 19 [20]	55, 42 [48]	200, 199, 190 [196]
	高 P+中 S	1.5	396, 411 [404]	547, 561 [554]	26, 27 [27]	52, 64 [58]	173, 177, 171 [174]
		45	489, 479 [484]	624, 614 [619]	24, 26 [25]	66, 61 [63]	196, 203, 206 [202]
	高 P+低 S	1.5	404, 413 [409]	555, 562 [559]	29, 27 [28]	59, 64 [62]	183, 171, 169 [174]
		45	482, 468 [475]	615, 602 [609]	24, 22 [23]	61, 56 [59]	194, 197, 202 [198]

※ 引張試験は各条件 2 本、硬さ試験は 3 点実施。表中[] 内の数値は平均値を示す。

炭素鋼	冷却速度 1.5℃/min				
					
					
	冷却速度 45℃/min				
低合金鋼	冷却速度 1.5℃/min				
低合金鋼	冷却速度 45℃/min				

d. シャルピー試験結果

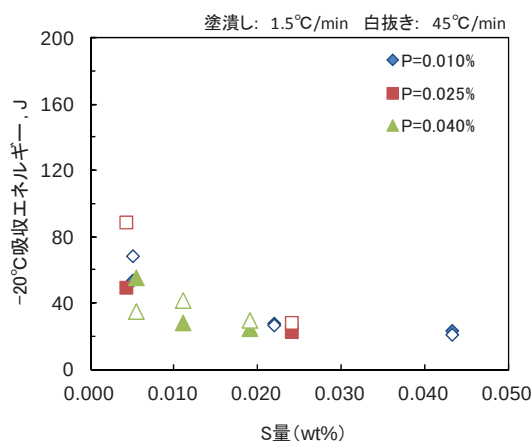
シャルピー試験の結果を表 3.2.2-5 に示す。-20℃を含む複数の温度条件下でシャルピー試験を行い、吸収エネルギーと FATT を評価した。

図 3.2.2-3 に炭素鋼および低合金鋼の不純物含有量と-20℃シャルピー吸収エネルギーの関係を示す。不純物元素が-20℃シャルピー吸収エネルギーに与える影響は鋼種によらず同じ傾向を示しており、S および P 含有量が多いほど吸収エネルギーは減少する。

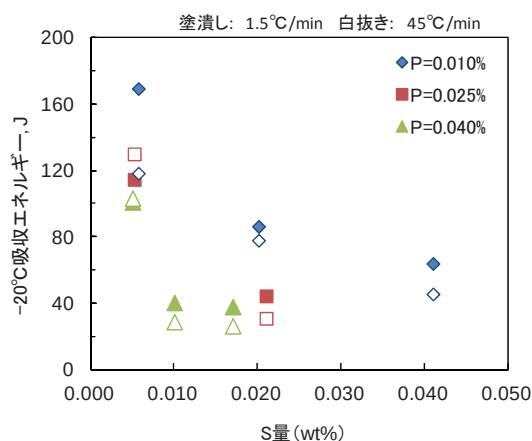
表 3.2.2-5 シャルピー試験結果

		熱処理 冷却速度 (℃/min)	-20℃吸収エネルギー (J)		FATT (℃)
			個別	平均	
炭素鋼	中 P+中 S	1.5	22, 23	23	2
		45	32, 25	29	-6
	高 P+中 S	1.5	27, 23	25	11
		45	30, 30	30	-4
	高 P+低 S	1.5	27, 30	29	13
		45	47, 37	42	15
低合金鋼	中 P+中 S	1.5	52, 37	45	-2
		12	37, 25	31	-6
	高 P+中 S	1.5	39, 37	38	3
		45	30, 23	27	11
	高 P+低 S	1.5	44, 37	41	8
		45	37, 21	29	9

(a) 炭素鋼



(b) 低合金鋼



(P=0.010% (青のプロット) は平成 27 年度の基礎試験結果による)

図 3.2.2-3 不純物含有量と-20℃シャルピー吸収エネルギーの関係

4) まとめ

P 及び S について、その 2 成分の組合せで、不純物含有量による鋳鋼品の低温衝撃値への影響を定量的に把握した。ここで取得したデータと内容物の耐久性評価の結果を踏まえて詳細な検討を行い、今後 P 及び S 含有上限値を検討する。

(2) 低合金鋼鑄鋼品および溶接部の機械的特性の評価

1) 目的

内容器の耐久性評価に必要な基本物性データを取得するために、容器の主要部である鑄鋼とその補修溶接部、および蓋溶接部を対象に機械的試験を実施した。なお、鑄鋼の材質は、平成 27 年度の検討結果から低温靱性を確保できると考えられた低合金鋼とした。

2) 試験方法

a. 供試材

供試材は、200mm 厚の鑄鋼容器から採取した 70mm 厚の試験片を用いた。その化学組成を表 3.2.2-6 に示す。

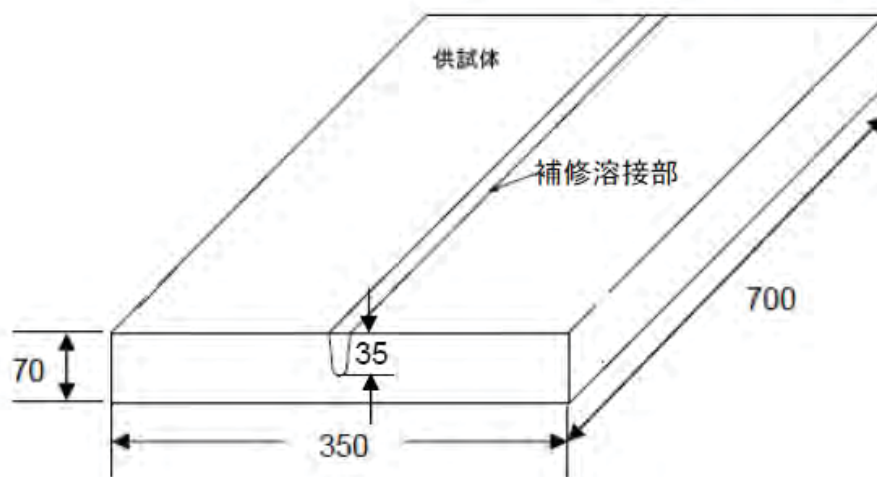
表 3.2.2-6 供試材の化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Sn
0.12	0.38	0.89	0.005	0.001	0.08	2.02	0.29	0.15	0.005

b. 溶接試験体の製作

70mm 厚に機械加工した試験片を溶接し、図 3.2.2-4 のような補修溶接部および蓋溶接を模擬した溶接試験体を作製した。溶接後の試験体外観を図 3.2.2-5 に示す。またそれぞれの溶接施工条件を表 3.2.2-7 にまとめた。

(a)



(b)

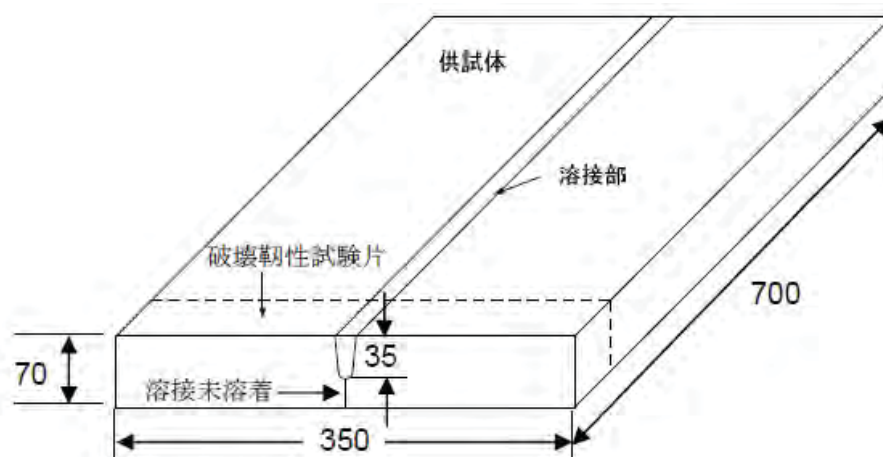
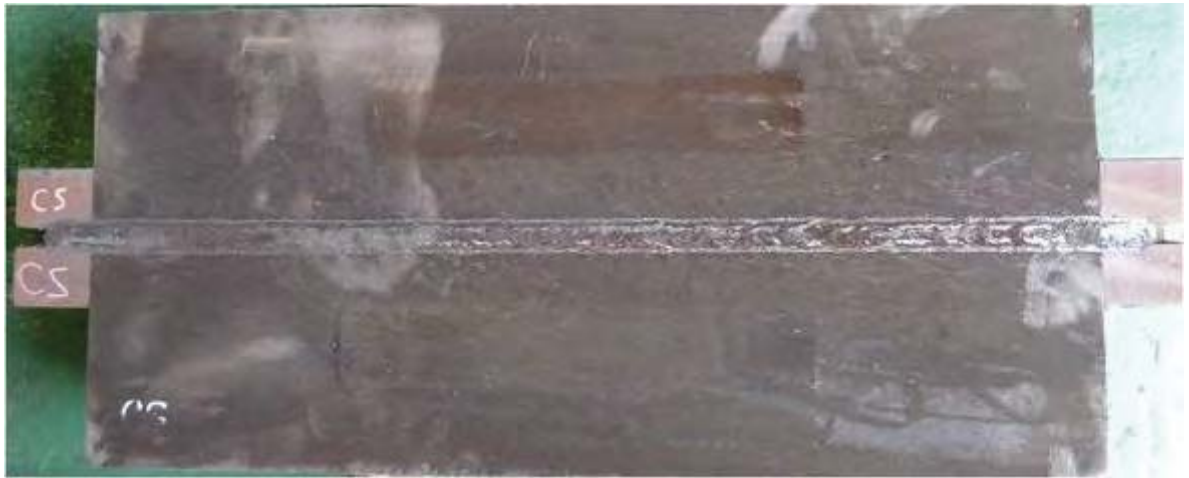


图 3.2.2-4 溶接試験体:(a)補修溶接模擬試験体、(b)蓋溶接模擬試験体

(a)



(b)

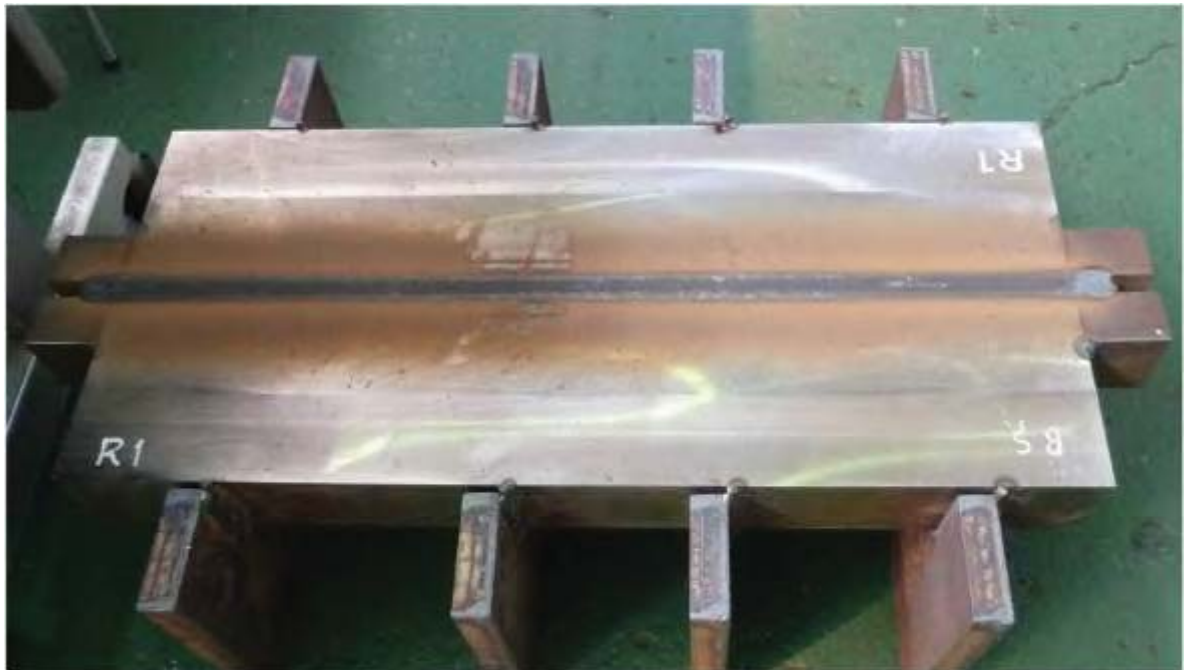


図 3.2.2-5 溶接後の試験体概観写真:(a)補修溶接模擬試験体、(b)蓋溶接模擬試験体

表 3.2.2-7 溶接条件

	補修溶接模擬	蓋溶接模擬
溶接方法	GMAW（半自動溶接）	GMAW（ロボット溶接）
シールドガス（流量）	100%CO ₂ (25 L/min)	80%Ar-20%CO ₂ (27 L/min)
溶接材料	MG-60 φ 1.6mm	MG-60 φ 1.6mm
溶接姿勢	下向き	下向き
電流 [A]	250～270	340～390
電圧 [V]	26～32	32～35
溶接速度 [cm/min]	24～28	23～30
予熱・パス間温度 [℃]	50～230	250 以下
層数（パス/層）	8 以上（1 パス/1 層）	8 以上（1 パス/1 層）
PWHT	600℃×1.5Hr/F.C.	—

c. 機械的試験

対象の低合金鋼鋳鋼およびその溶接部の機械的試験を実施した。試験項目とその内容を表 3.2.2-8 にまとめて示す。

表 3.2.2-8 試験内容一覧

試験項目		実施内容
引張試験	静的	母材および溶接金属の引張特性を室温と-20℃で求める。
	高速	母材および溶接金属の引張特性に及ぼすひずみ速度の影響を室温で求める。
シャルピー衝撃試験		蓋溶接および補修溶接溶接継手の BOND,HAZ, 溶接金属の低温衝撃特性を求める
破壊靱性試験 (-20℃)	母材	静的（ K 値変化速度 $\dot{K} \leq 3\text{MPa}\sqrt{\text{m/sec.}}$ ）および動的（ $\dot{K} \geq 10^5\text{MPa}\sqrt{\text{m/sec.}}$ ）の破壊靱性を-20℃で求める。
	蓋溶接	溶接部を対象に破壊靱性を-20℃で求める。
	補修溶接	溶接部を対象に破壊靱性を-20℃で求める。

引張試験（静的）は以下の通り行った。

- ・対象部位： 母材とその補修溶接および蓋溶接の溶接金属の 3 ヶ所
- ・試験片： 図 3.2.2-6
- ・試験温度： 室温と-20℃
- ・試験速度： 静的（破断まで 3mm/min 一定で試験）

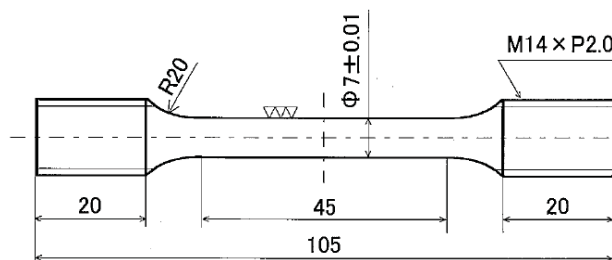


図 3.2.2-6 静的引張試験片

引張試験（高速）は以下の通り行った。

- ・対象部位： 母材とその補修溶接および蓋溶接部の溶接金属の3ヶ所
- ・試験片： 図 3.2.2-7
- ・試験温度： 室温
- ・試験速度： 1m/sec～10m/sec の中で3水準

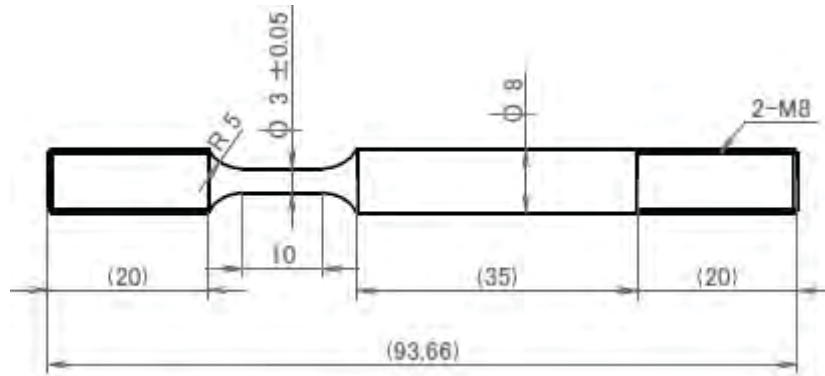
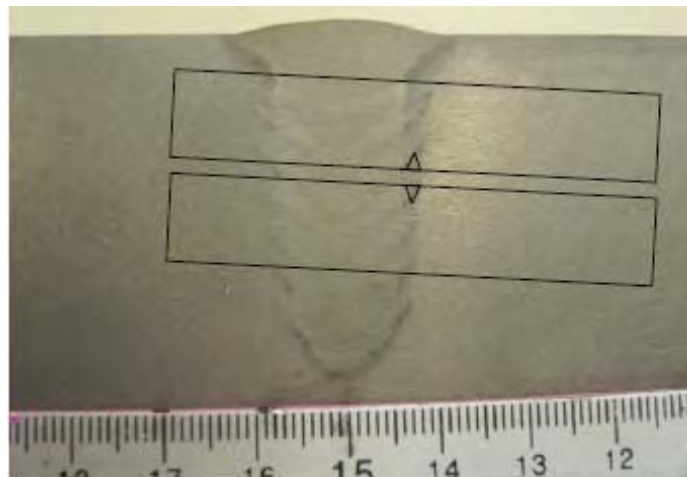


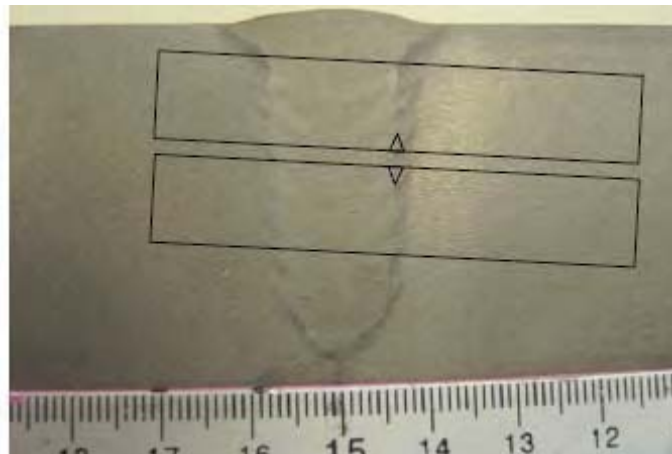
図 3.2.2-7 高速引張試験片

シャルピー衝撃試験は、JIS Z 2242 に準拠し以下の通り行った。

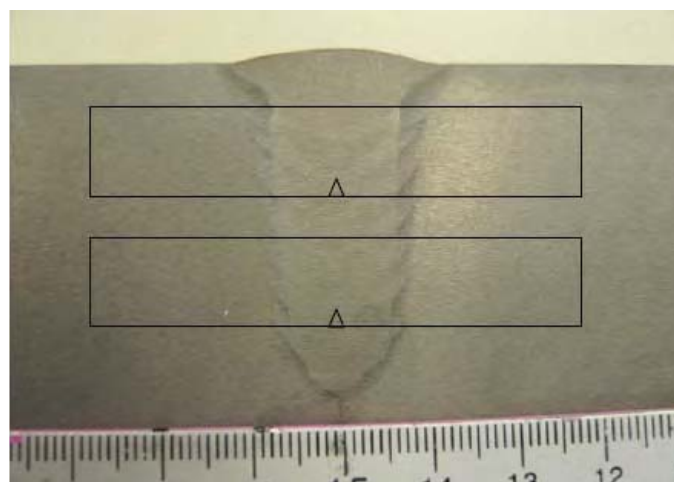
- ・対象部位： 補修溶接部および蓋溶接部
- ・試験片： JIS Z 2202 4号試験片（Vノッチ試験片）
- ・ノッチ位置： HAZ、BOND、溶接金属（図 3.2.2-8 参照）
- ・試験温度： -40、-20、0℃



(a) HAZ



(b) BOND



(c) 溶接金属

図 3.2.2-8 シャルピー試験片採取要領のイメージ

破壊靱性試験は、ASTM E 1820 または ISO 12135 に準拠し、以下の通り行った。

- ・対象部位： 母材、蓋溶接未溶着部、補修溶接および蓋溶接部の HAZ と溶接金属
- ・試験片： 図 3.2.2-9 母材（ノッチ先端に疲労き裂を導入）
 図 3.2.2-10 蓋溶接未溶着まま（未溶着部をき裂とした）
 図 3.2.2-11 蓋溶接と補修溶接の HAZ と溶接金属（採取イメージは図 3.2.2-12 参照、ノッチ先端に疲労き裂を導入）
- ・試験温度： -20°C
- ・試験速度： 静的（ K 値変化速度 $\dot{K} \leq 3\text{MPa}\sqrt{\text{m/sec.}}$ ）
 動的（ K 値変化速度 $\dot{K} \geq 10^5\text{MPa}\sqrt{\text{m/sec.}}$ （S.T.Rolf ら^[2]が示す破壊靱性値の試験速度依存性の下限值に相当する速度））
- ・試験概観： 図 3.2.2-13 （静的破壊靱性試験／万能試験機）
 図 3.2.2-14 （動的破壊靱性試験／落錘衝撃試験装置）

静的破壊靱性試験について、図 3.2.2-15 に試験の模式図を示す。荷重とノッチ端での開口変位(COD)および荷重線変位(LLD)を記録するとともに、各評価部位について少なくとも 1 本の試験片にはひずみゲージを貼付し、ロードセル荷重とひずみの関係を記録した。

動的破壊靱性試験について、荷重の計測は、各試験片に図 3.2.2-16 に示すようにひずみゲージを貼付し、静的破壊靱性試験時に得られた荷重とひずみの関係を用いて、動的計測時のひずみ値から求めた。

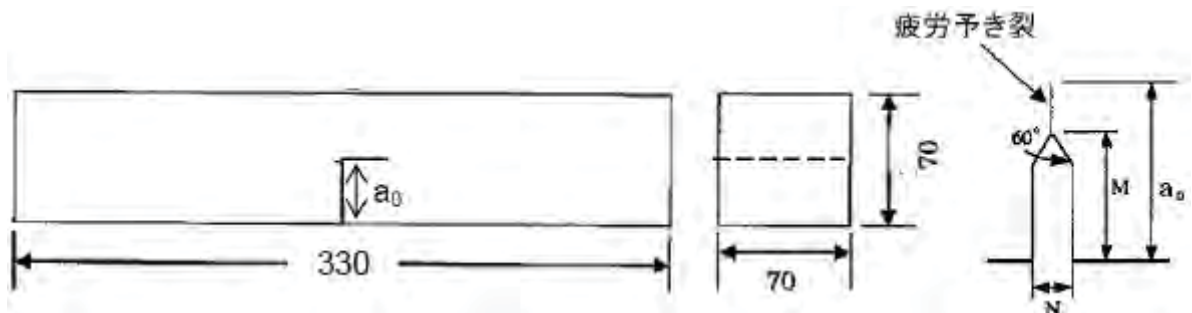


図 3.2.2-9 母材の破壊靱性試験片
 $(B=W=70\text{mm}, a_0/W \approx 0.5, N=2\text{mm})$

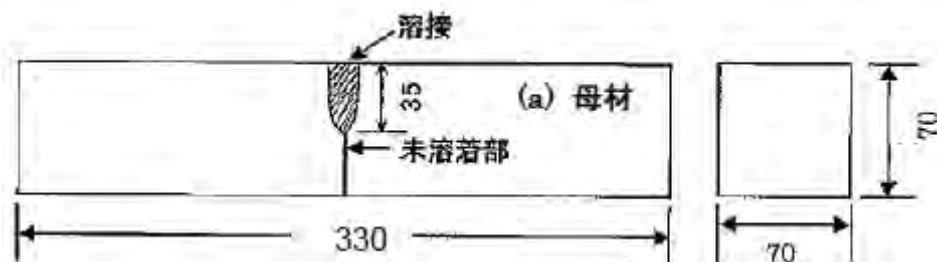


図 3.2.2-10 蓋溶接未溶着ままの破壊靱性試験片
 $(B=W=70\text{mm}, a_0/W \approx 0.5, N=2\text{mm})$

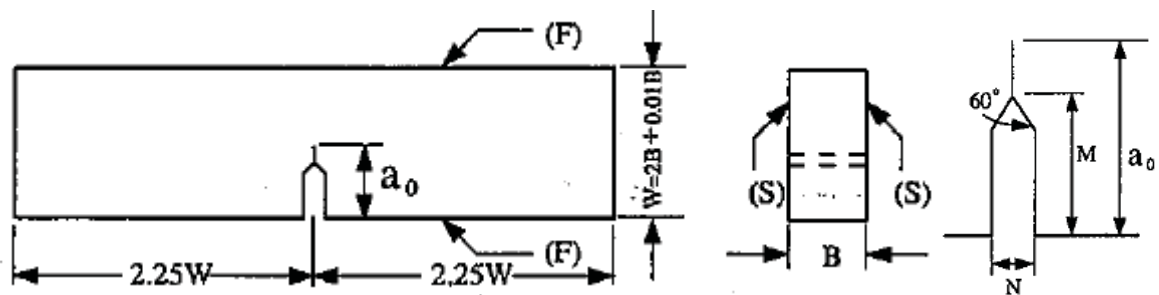


図 3.2.2-11 蓋溶接および補修溶接のHAZと溶接金属の破壊靱性試験片
 (B=35mm, W=70mm, $a_0/W \doteq 0.5$, N=2mm)

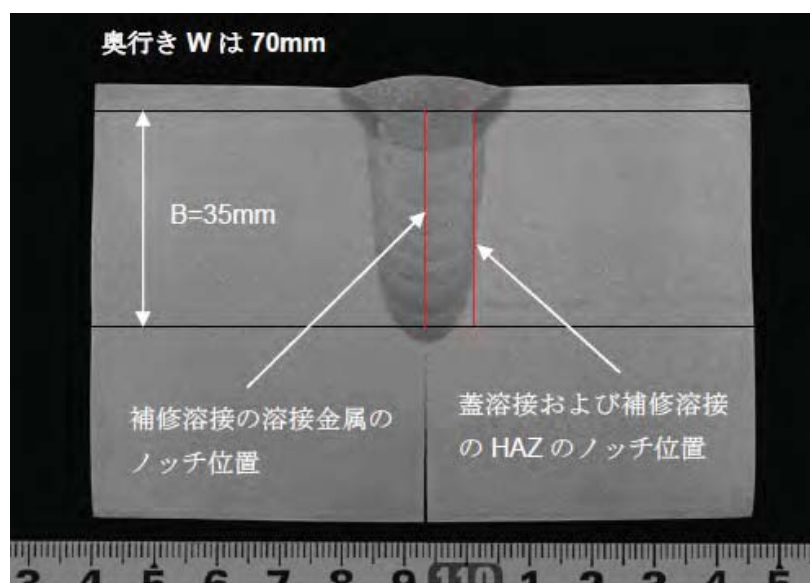


図 3.2.2-12 図 3.2.2-11 の試験片の採取要領イメージ



図 3.2.2-13 静的破壊靱性試験の試験要領



図 3.2.2-14 動的破壊靱性試験の試験要領（恒温槽で冷却後取り出して速やかに試験）

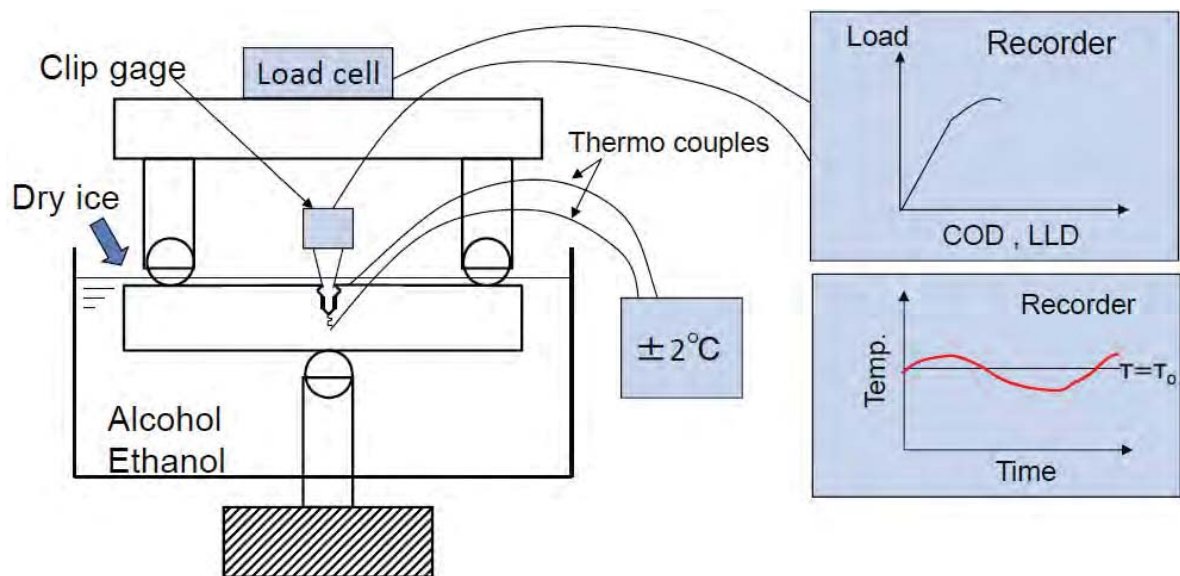


図 3.2.2-15 静的破壊靱性試験の試験要領（模式図）

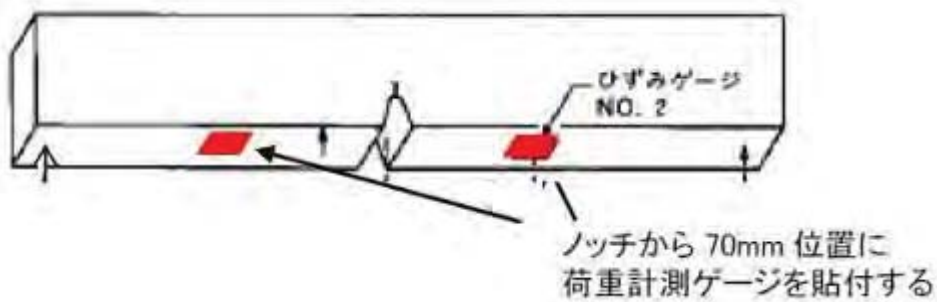


図 3.2.2-16 動的破壊靱性試験の荷重計測ゲージ

3) 試験結果

a. 引張試験結果

静的引張試験結果を表 3.2.2-9 に示す。また、0.2%耐力と試験温度の関係を図 3.2.2-17 に示す。低温になると強度は増加するが、室温（23℃）と-20℃ではその差は小さい。また、溶接部の強度は母材よりも高いが、蓋溶接と補修溶接で機械的特性に有意な差は見られない。

表 3.2.2-9 静的引張試験結果（試験速度：破断まで 3mm/min 一定）

	試験温度 ℃	0.2%耐力 MPa	引張強さ MPa	伸び (GL=35mm) %	絞り %
母材	23	456	571	12	43
		441	547	11	34
	-20	475	601	28	52
		466	604	9	29
蓋溶接金属	23	623	739	29	60
		633	742	29	61
	-20	730	794	31	67
		724	788	31	66
補修溶接金属	23	712	772	26	61
		619	691	30	65
	-20	638	724	32	68
		726	793	26	59

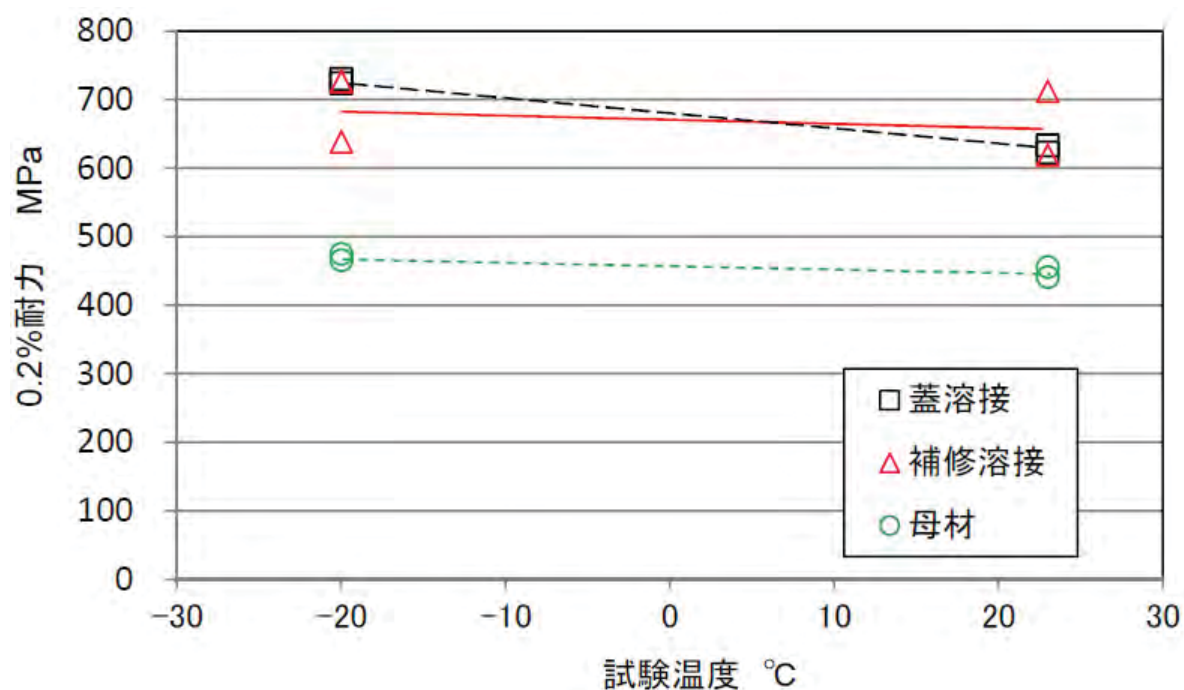


図 3.2.2-17 静的引張試験での 0.2%耐力の温度依存性

高速引張試験結果を表 3.2.2-10 に示す。また、0.2%耐力とひずみ速度の関係を図 3.2.2-18 に示す。ここで、図 3.2.2-18 のプロットには静的引張試験（ひずみ速度 $1.1 \times 10^{-3}/\text{sec}$ ）の結果も含んでいる。0.2%耐力とひずみ速度の関係にはほぼ直線関係が成り立ち、0.2%耐力はひずみ速度が速くなるに伴い増加する。

表 3.2.2-10 高速引張試験結果

	試験速度		0.2%耐力 (Mpa)	引張強さ (Mpa)	伸び (GL=8mm) (%)	絞り (%)
	引張速度 (mm/s)	ひずみ速度 (1/sec)				
母材	3	0.30	488	602	37	72
			475	596	38	72
	1000	100	655	709	33	50
	2000	200	669	682	45	73
蓋溶接金属	3	0.30	743	791	33	66
			665	782	32	63
	1000	100	778	830	33	64
	2000	200	732	820	38	65
			863	863	35	64
補修溶接金属	3	0.30	665	736	33	62
			739	794	34	63
	1000	100	675	759	30	63
	2000	200	782	802	34	63
			823	829	32	64

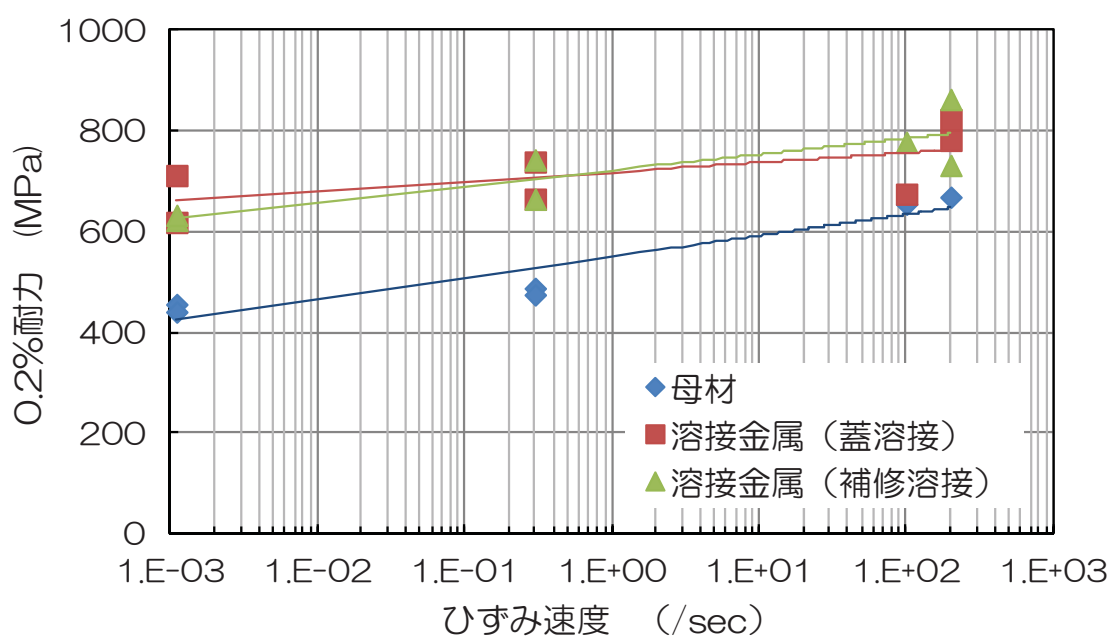


図 3.2.2-18 0.2%耐力のひずみ速度依存性

鋼材の降伏強度 σ_y に及ぼすひずみ速度および温度の影響は、Bennett ら^[3]が活性化エネルギー論的見地より導いた関係に基づく、Strain rate-temperature parameter (R)を用いて(1)および(2)式のように表わすことができる。

$$\sigma_y = \alpha \cdot \exp\left(\frac{\beta}{R}\right) \quad (1)$$

$$R = T \cdot \ln\left(\frac{A}{\dot{\epsilon}}\right) \quad (2)$$

ここで、 α 、 β ：定数、 T ：絶対温度(K)、 $\dot{\epsilon}$ ：ひずみ速度(1/sec)、(2)式の A は材料定

数で、一般に $A=10^8$ が用いられる。

上述した母材および蓋溶接金属の引張試験結果を用いて求めた(1)式の定数 α と β を表 3.2.2-11 にまとめて示す。

表 3.2.2-11 母材および蓋溶接金属の α と β

	α	β
母材	283	3271
蓋溶接金属	587	968

後藤ら^[4]は、ひずみ速度および温度を考慮した真応力(σ_a)-対数ひずみ線図(ε_a)の関係を(3)式で与えている。

$$\sigma_a = F \varepsilon_a^n \quad (3)$$

ここで、 $F = \sigma_{0.2} / \varepsilon_k^n$ 、 $\varepsilon_k = 0.002 + \sigma_{0.2} / E$ 、 E ：ヤング率、 n ：ひずみ硬化係数

母材および蓋溶接金属の-20℃の静的引張試験結果から求めた(3)式の n 値を表 3.2.2-12 にまとめて示す。また、表 3.2.2-12 の平均値を用いて(3)式から与えられるひずみ速度をパラメータとした、母材および蓋溶接金属の-20℃での真応力-対数ひずみ線図を図 3.2.2-19 に示す。

表 3.2.2-12 -20℃の静的引張試験から求めたひずみ硬化係数

	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ひずみ硬化係数	
		個々の値	平均値
母材	475	0.155	0.147
	466	0.139	
蓋溶接金属	730	0.095	0.009
	724	0.097	

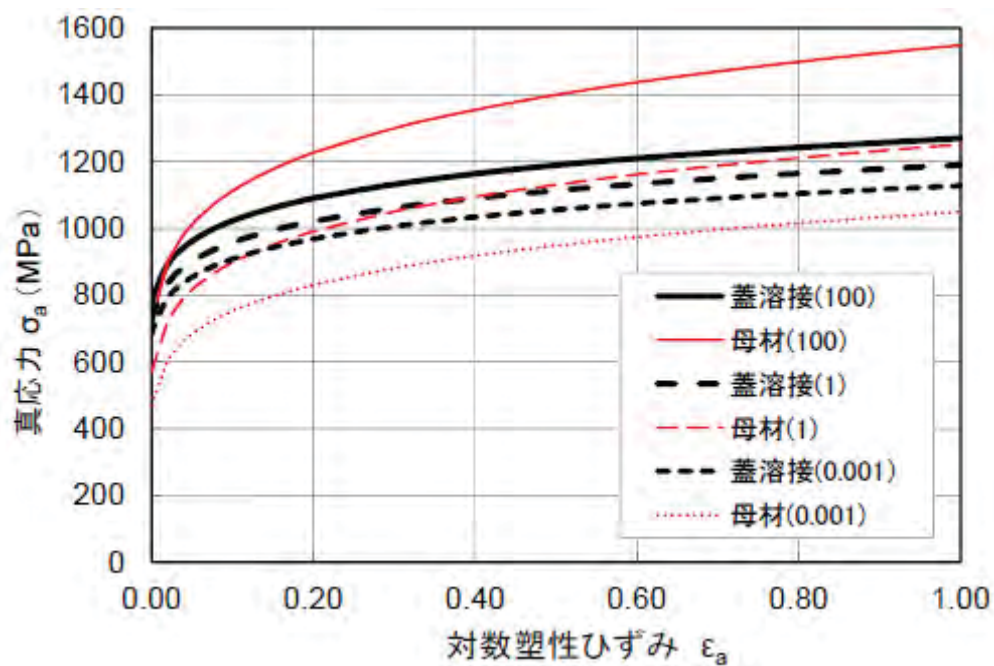


図 3.2.2-19 母材と蓋溶接金属の-20℃での真応力-対数ひずみ線図

b. シャルピー試験結果

蓋溶接および補修溶接の溶接継手の各ノッチ位置について、吸収エネルギーの平均値を図 3.2.2-20 に示す。蓋溶接、補修溶接とも溶接金属（WM）の吸収エネルギーは低く、BOND、HAZ の順に高くなる。

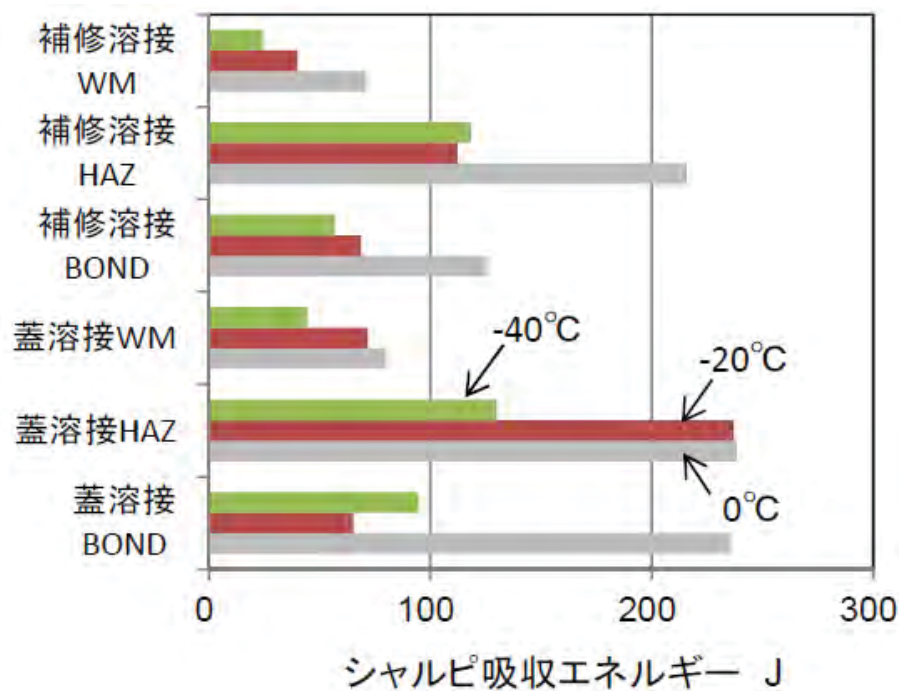


図 3.2.2-20 蓋溶接および補修溶接部の吸収エネルギーの平均値の比較

c. 破壊靱性試験結果

静的破壊靱性試験結果を図 3.2.2-21 に示す。本試験では、 $B=W=70\text{mm}$ の正方形断面の 3 点曲げ試験片（母材、蓋溶接未溶着まま、蓋溶接金属）と $B=35\text{mm}$ 、 $W=70\text{mm}$ の試験片（蓋溶接 HAZ、補修溶接金属、補修溶接 HAZ）の 2 種類を用いたが、ここでは、ASTM E1921 に従い $B=35\text{mm}$ の破壊靱性値から $B=70\text{mm}$ の破壊靱性値へ補正した。

平均値で比較すると、蓋溶接金属 < 蓋溶接の未溶着まゝ < 補修溶接金属 < 蓋溶接の HAZ < 母材 < 補修溶接の HAZ の順に高くなる。

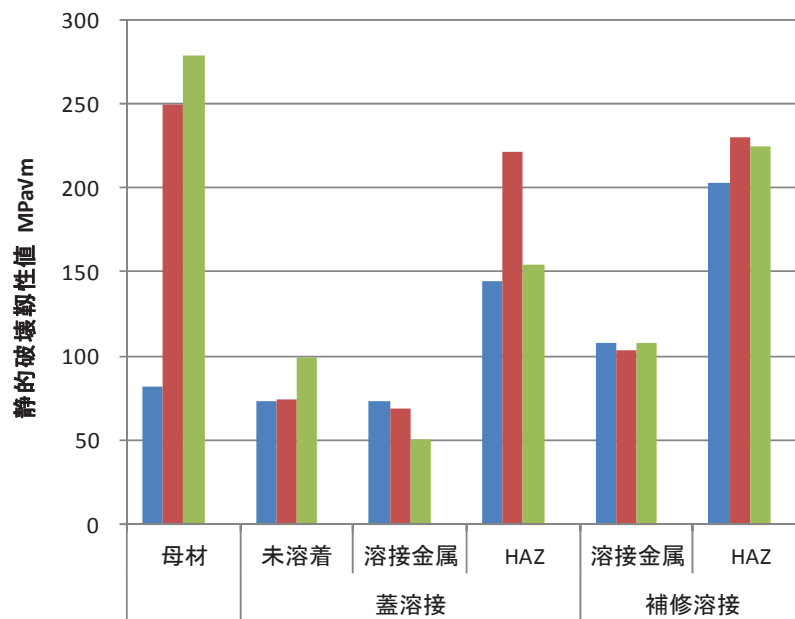


図 3.2.2-21 静的破壊靱性試験結果 ($B=70\text{mm}$ に統一)

動的破壊靱性試験結果を図 3.2.2-22 に示す。静的破壊靱性試験結果と同様に、試験片厚 $B=35\text{mm}$ の破壊靱性値は $B=70\text{mm}$ の破壊靱性値へ補正した結果を示している。

ノッチ位置に対する動的破壊靱性値の平均値を比較すると、静的破壊靱性試験結果と同様の傾向を示している。

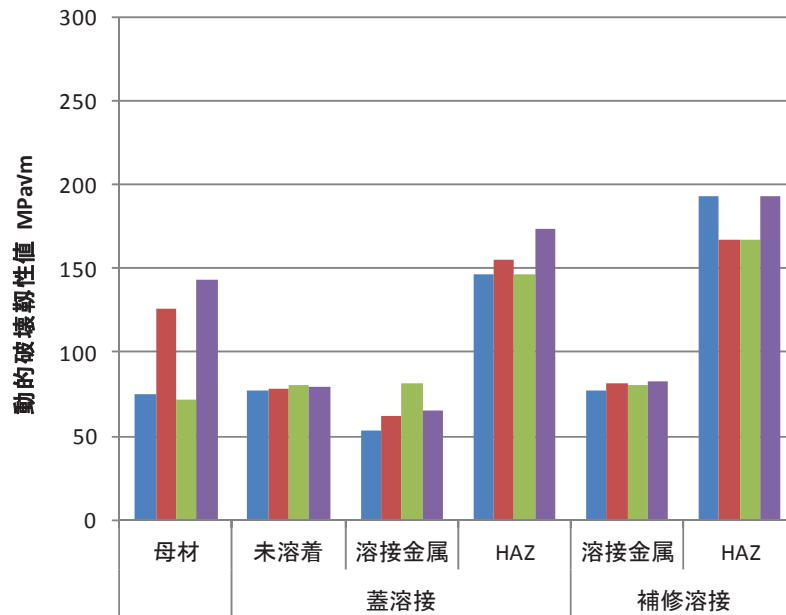


図 3.2.2-22 動的破壊靱性試験結果 (B=70mm に統一)

破壊靱性値と K 値変化速度の関係を図 3.2.2-23 に示す。K 値変化速度が大きくなると破壊靱性値は低下するが、静的破壊靱性値が低い蓋溶接の未溶着および溶接金属や補修溶接の溶接金属の場合は K 値変化速度の影響は小さい。静的および動的破壊靱性値の下限値は蓋溶接の溶接金属で生じており、それぞれ 51 および 53MPa√m となる。

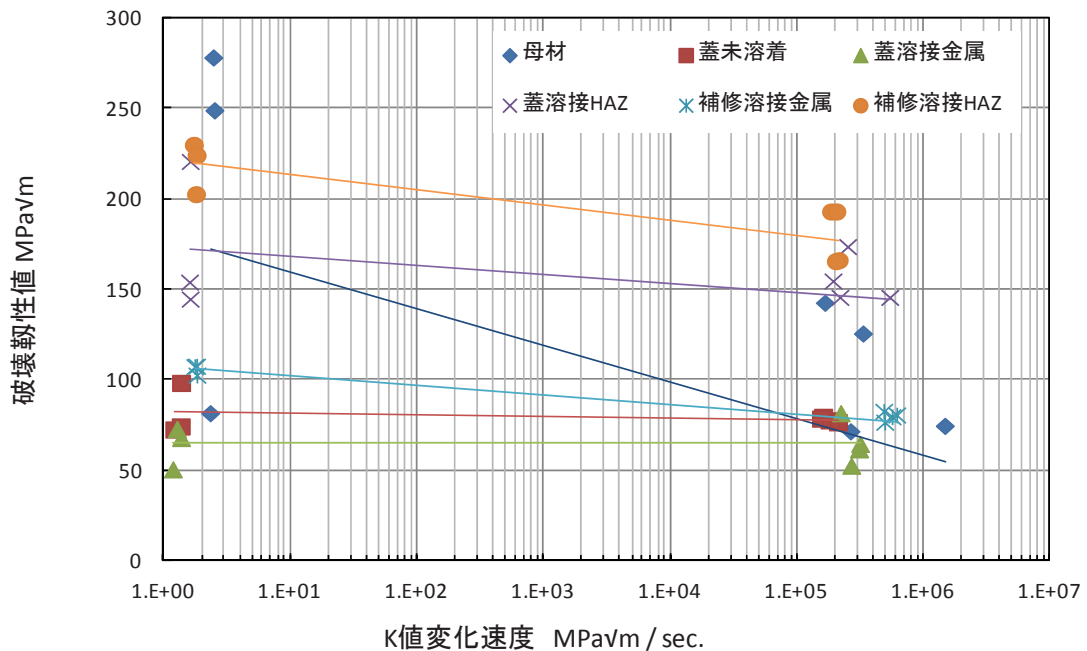


図 3.2.2-23 破壊靱性値 (B=70mm に統一) と K 値変化速度の関係

4) まとめ

低合金鋼を対象に、耐久性評価に必要な材料物性値データを取得した。以下に結果の概要を示す。

- ①0.2%耐力とひずみ速度の間にはほぼ直線関係が成り立つことを確認し、母材および蓋溶接金属の 0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)に及ぼすひずみ速度および温度の影響を Bennett らの式^[3]を用いて定式化した。
- ②ひずみ速度および温度の影響を考慮した-20℃での真応力-対数ひずみ線図を定式化した。
- ③蓋溶接、補修溶接とも溶接金属(WM)のシャルピー吸収エネルギーは低く、BOND、HAZ の順に高くなる。
- ④母材、蓋溶接の溶接金属、未溶着部、HAZ 部、補修溶接の溶接金属および HAZ 部を対象に破壊靱性試験を実施した結果、蓋溶接の溶接金属が最も低い値を呈し、静的破壊靱性試験では、最小値 $51\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 、動的破壊靱性試験では最小値 $53\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ を呈した。

(3) 内容物の耐久性（靱性）の妥当性評価

1) 目的

内容物は安全性確保の観点から、その使用環境の中で輸送中に落下したとしても、遮へい機能を維持することが求められる。平成 27 年度は、汎用の解析コードを用いて内容物の使用環境において最も厳しい衝撃を与えると考えられる落下事象を把握し、鋳鋼品の靱性が妥当であることを確認した。

平成 28 年度は、平成 27 年度に把握した最も厳しい落下条件に対して実際の内容物を模擬した蓋溶接部を含めた破壊力学的評価を行い、耐久性（靱性）の妥当性を評価する。

2) 試験方法

a. 落下解析

平成 27 年度に把握した落下事象から、最も厳しいと考えられる落下条件を検討した。抽出した表 3.2.2-13 に示す落下条件に対して、汎用の解析ソフト LS-DYNA (version:smp s R7.1.2) を用いて応力解析を実施した。内容物の材料物性値は、前項(2)で実施した高速引張試験結果を用いた。

表 3.2.2-13 解析ケース

ケース	容器	蓋溶接 深さ	落下姿勢	落下標的	落下 高さ	解析 モデル
A	50mm 容器 (図 3.2.2-24)	35mm	角コーナー	剛床 (L1 建屋相当)	8m	図 3.2.2-27
B	200mm 容器 (図 3.2.2-25)					図 3.2.2-28
C	50mm 容器 角 R 変更 (図 3.2.2-26)					図 3.2.2-29

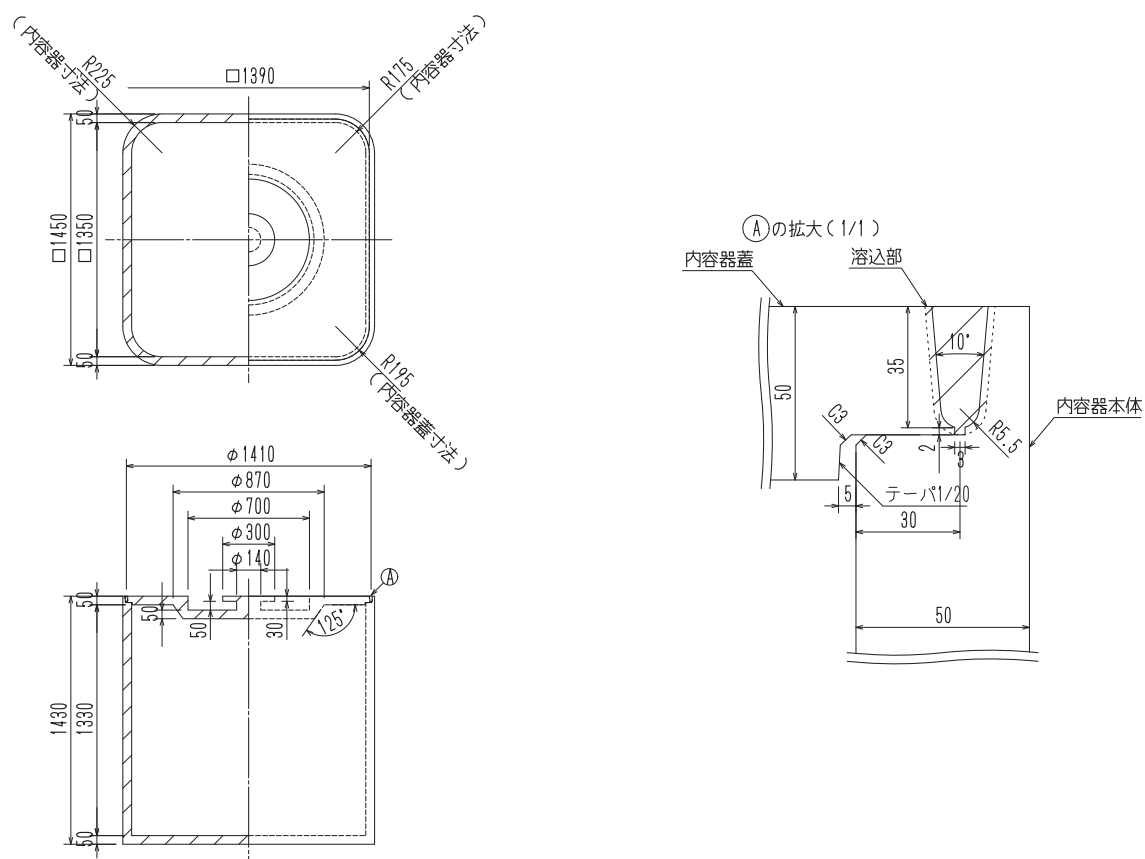


図 3.2.2-24 50mm 厚内容器：ケース A

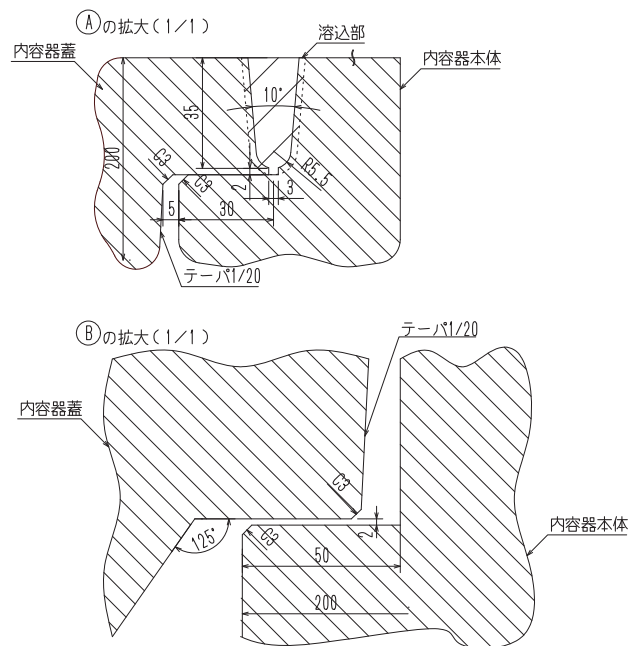
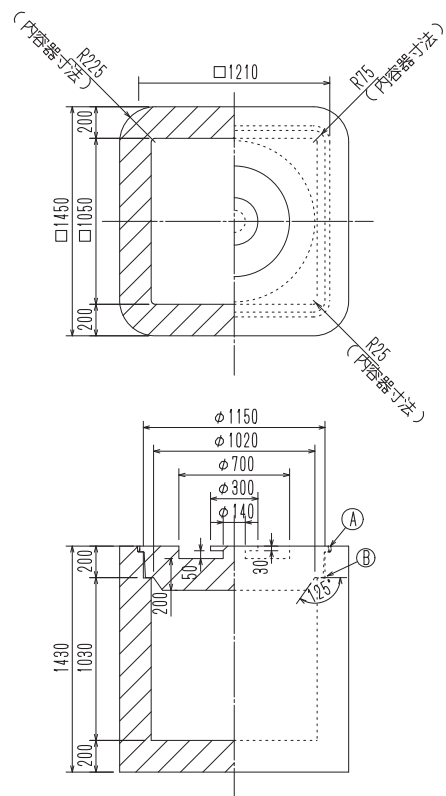


図 3.2.2-25 200mm 厚内容器：ケース B

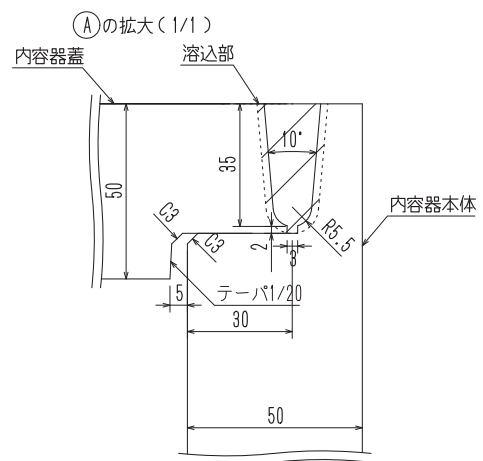
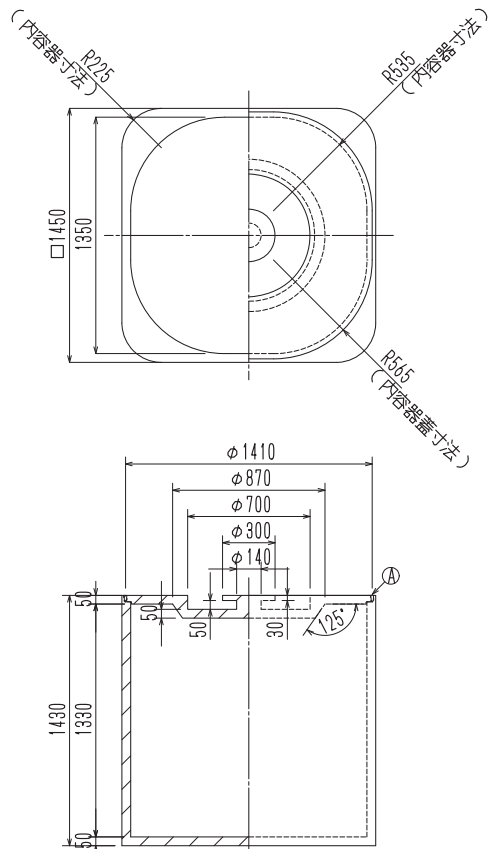
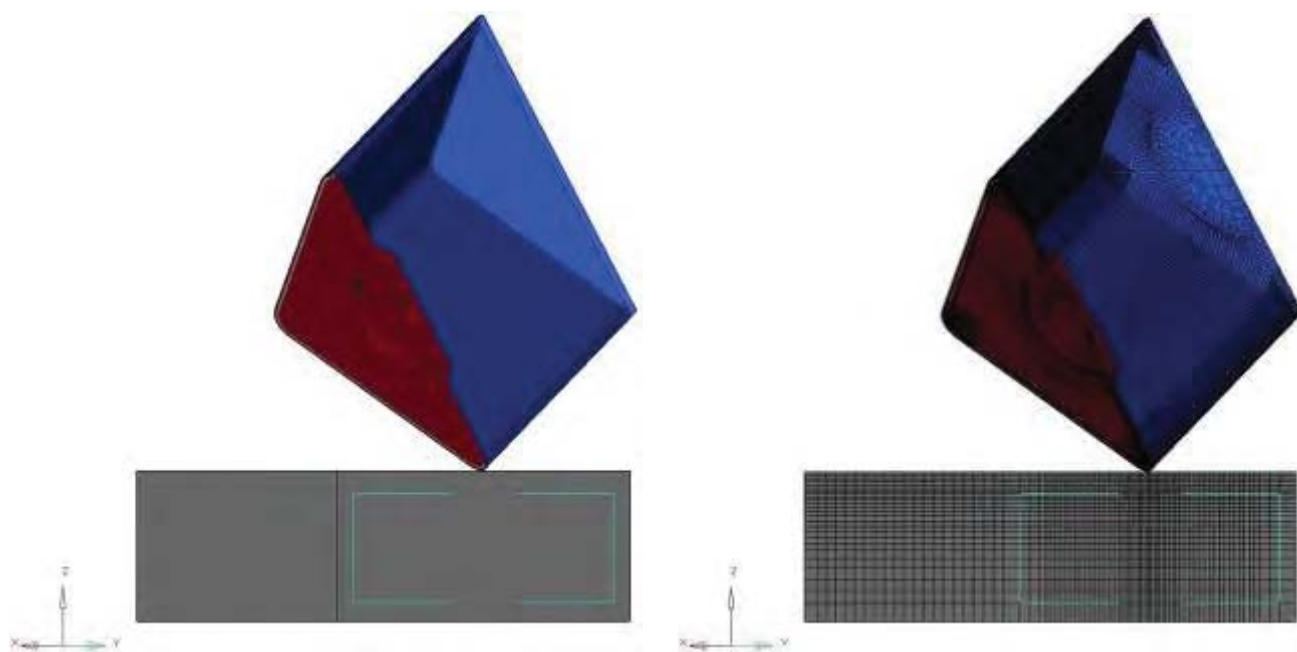
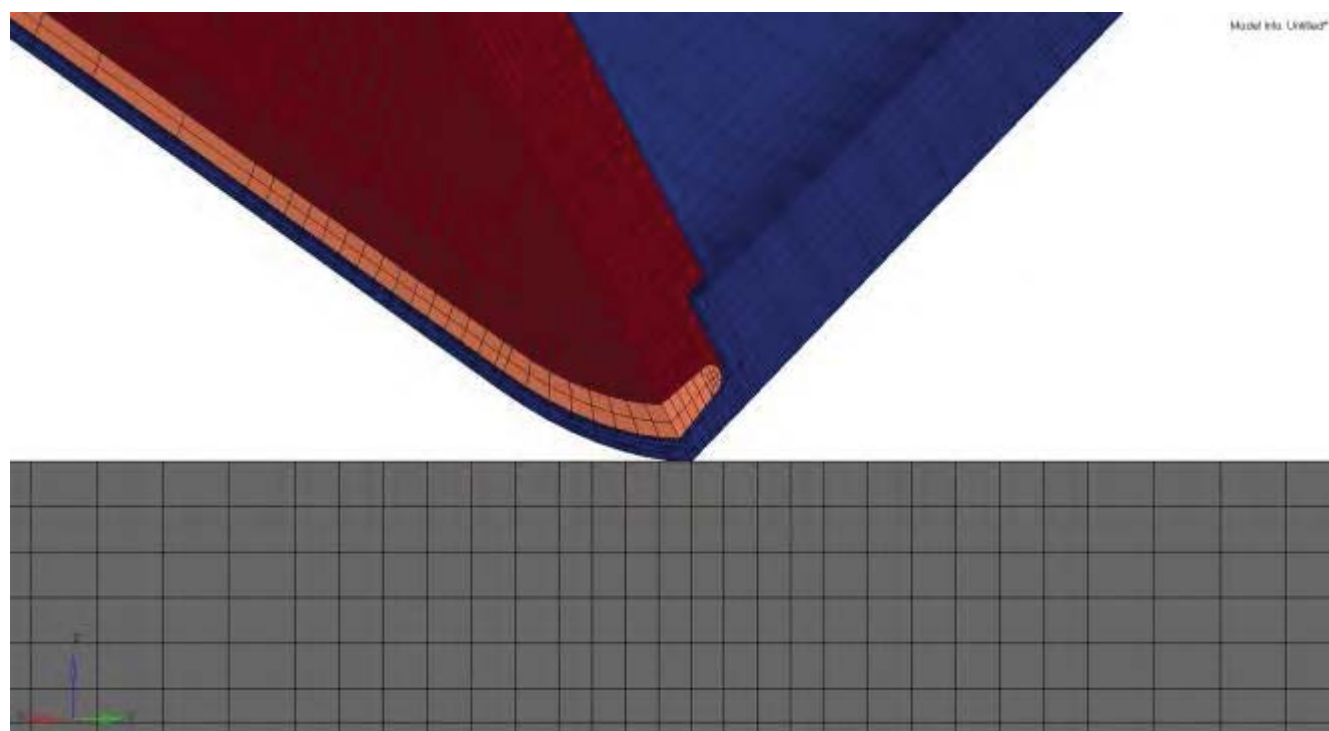


図 3.2.2-26 50mm 厚内容器（角 R 変更）：ケース C

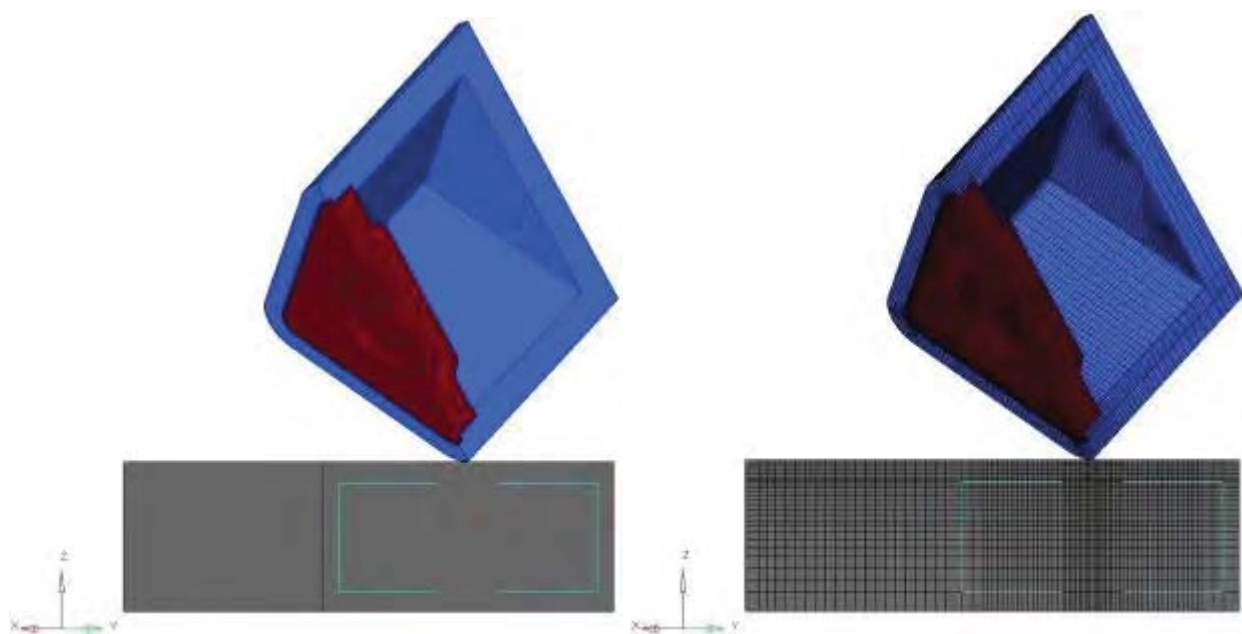


(モデル全体 要素分割非表示／表示)

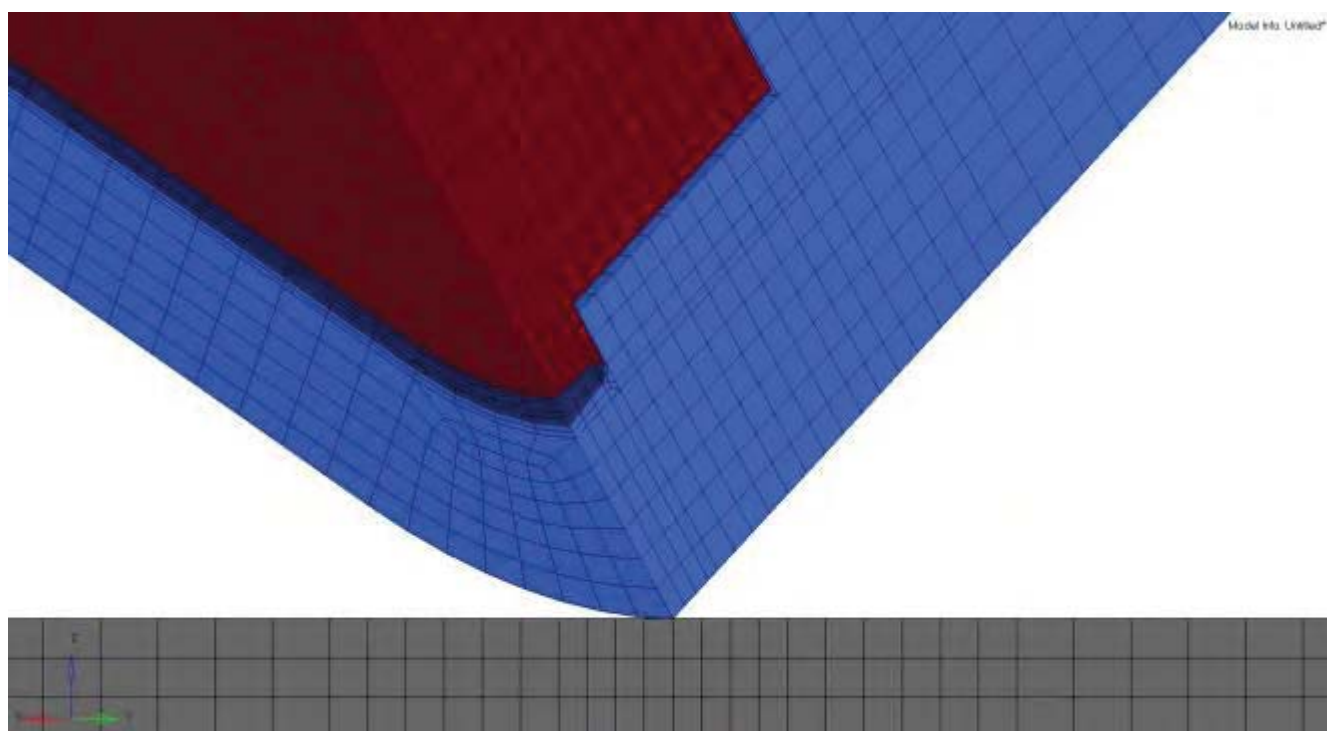


(衝突部詳細)

図 3.2.2-27 ケース A 落下解析モデル



(モデル全体 要素分割非表示／表示)



(衝突部詳細)

図 3.2.2-28 ケース B 落下解析モデル

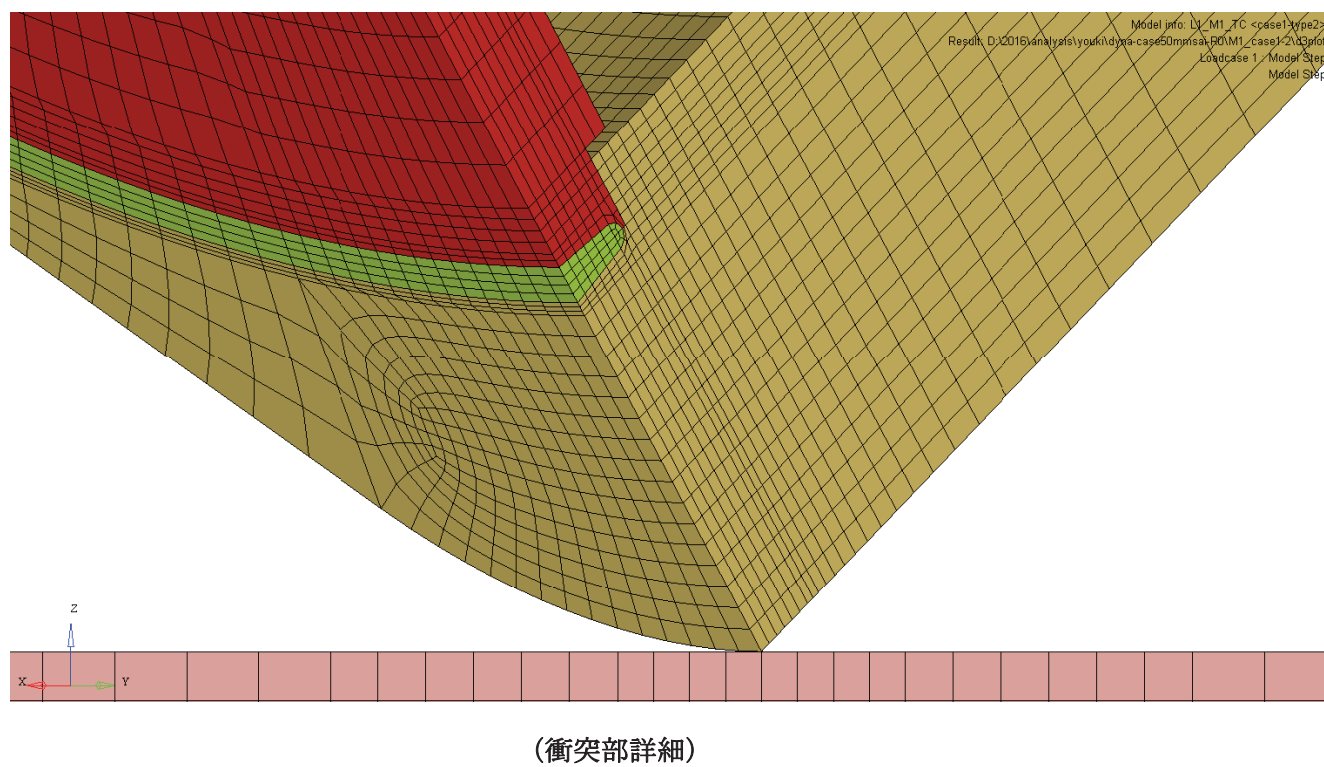
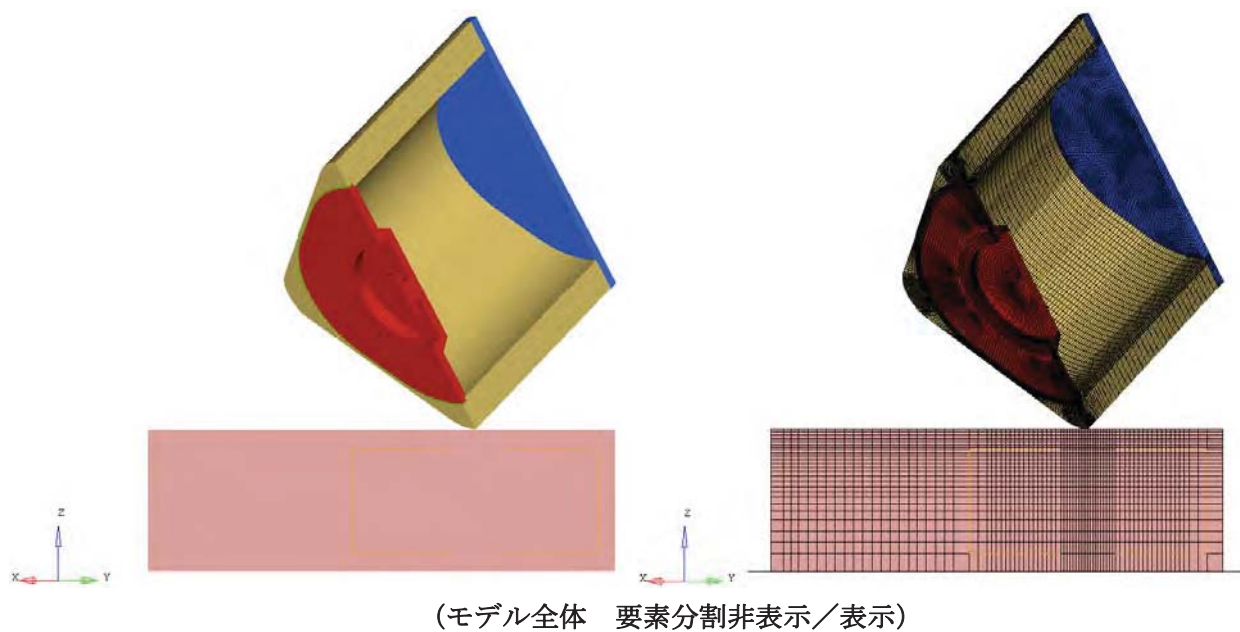


図 3.2.2-29 ケース C 落下解析モデル

b. K 値解析

内容器の蓋を溶接で固定する場合、未溶着部が生じる。そこから脆性破壊が生じないか検討するため、未溶着部の K 値を構造解析ソフト Abaqus (ver. 6.14.3) による 3 次元数値解析により求めた。a. の落下衝撃落下解析に使用された LS-DYNA による解析モデルの容器蓋側の上部を切出し、K 値算出用に要素を再分割した。ケース A から C の K 値解析用モデルをそれぞれ図 3.2.2-30 から図 3.2.2-32 に示す。

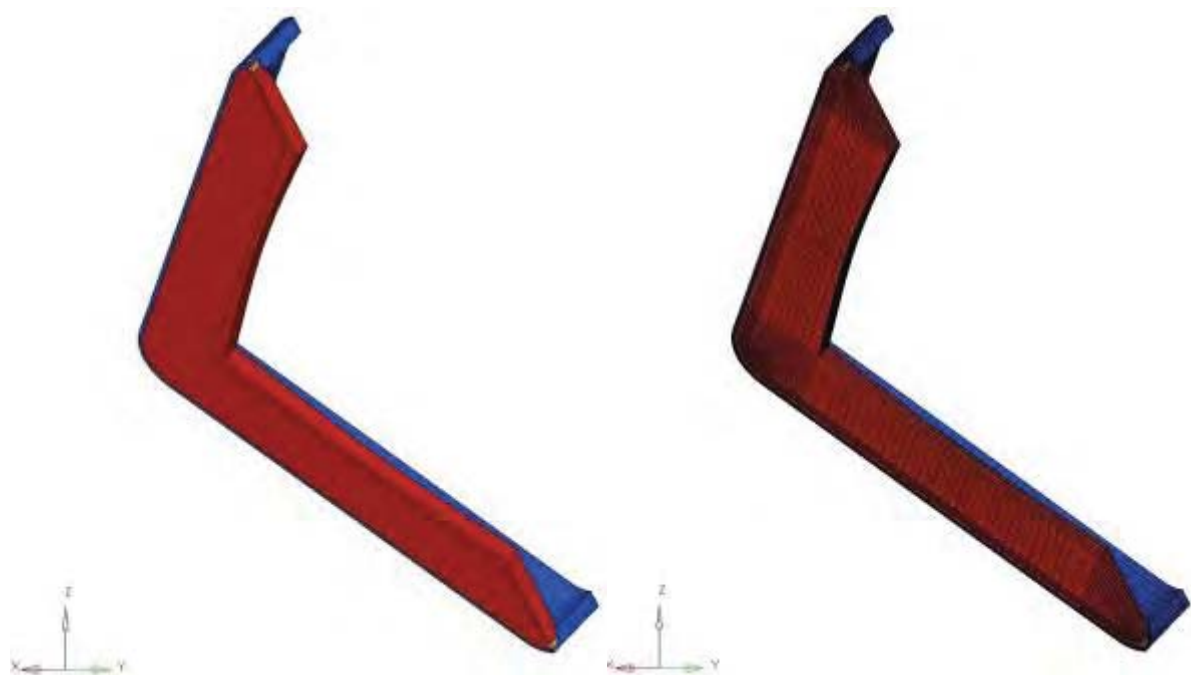
K 値解析では、K 値算出用に要素を再分割したモデルの端面と落下解析で用いられた解析モデルの一部を、Abaqus の結合接触機能 (*TIE：不連続な要素分割面を互いに結合する機能) により解析的に結合させた。なお、使用した要素の種類は、低減積分要素 (C3D8R) である。

解析条件を以下に示す。

- ・解析方法 : 静的弾性解析
- ・ヤング率 : 206GPa、
- ・ポアソン比 : 0.3
- ・拘束条件 : K値モデル抽出面の落下解析での各並進方向変位を付与
(図 3.2.2-33～図 3.2.2-35参照)

c. 脆性破壊強度評価

鋳鋼および補修溶接部に想定した表面欠陥や内部欠陥を対象に、破壊力学を適用して作用応力と脆性破壊に対する限界欠陥寸法の関係性を求めた。蓋溶接部の未溶着部からの脆性破壊強度は、3 次元数値解析で求めた K 値と前項(2)の機械的試験で求めた破壊靱性値を用いて評価した。

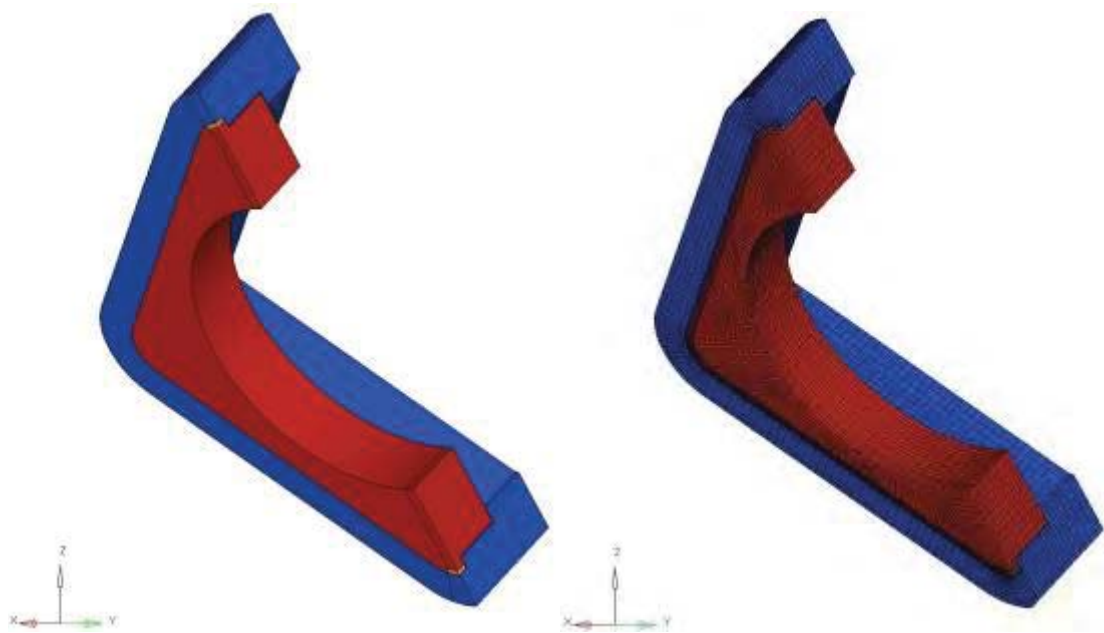


(モデル抽出部 要素分割非表示／表示)

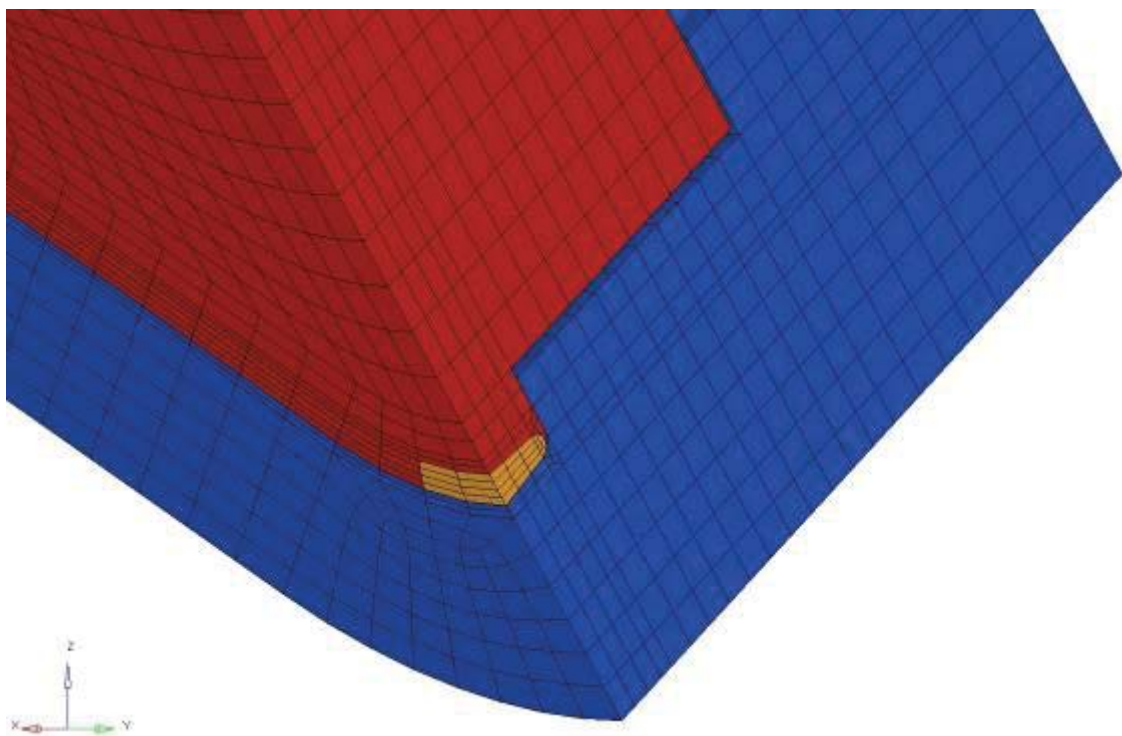


(衝突部近傍)

図 3.2.2-30 ケース A K 値解析モデル



(モデル抽出部 要素分割非表示／表示)



(衝突部近傍)

図 3.2.2-31 ケース B K 値解析モデル

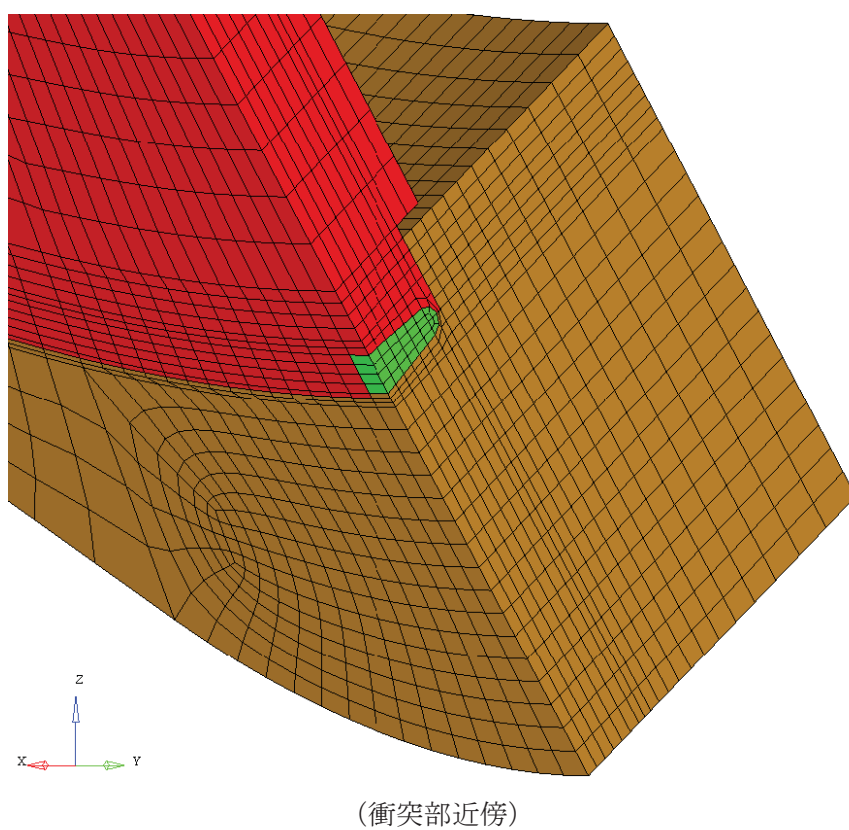
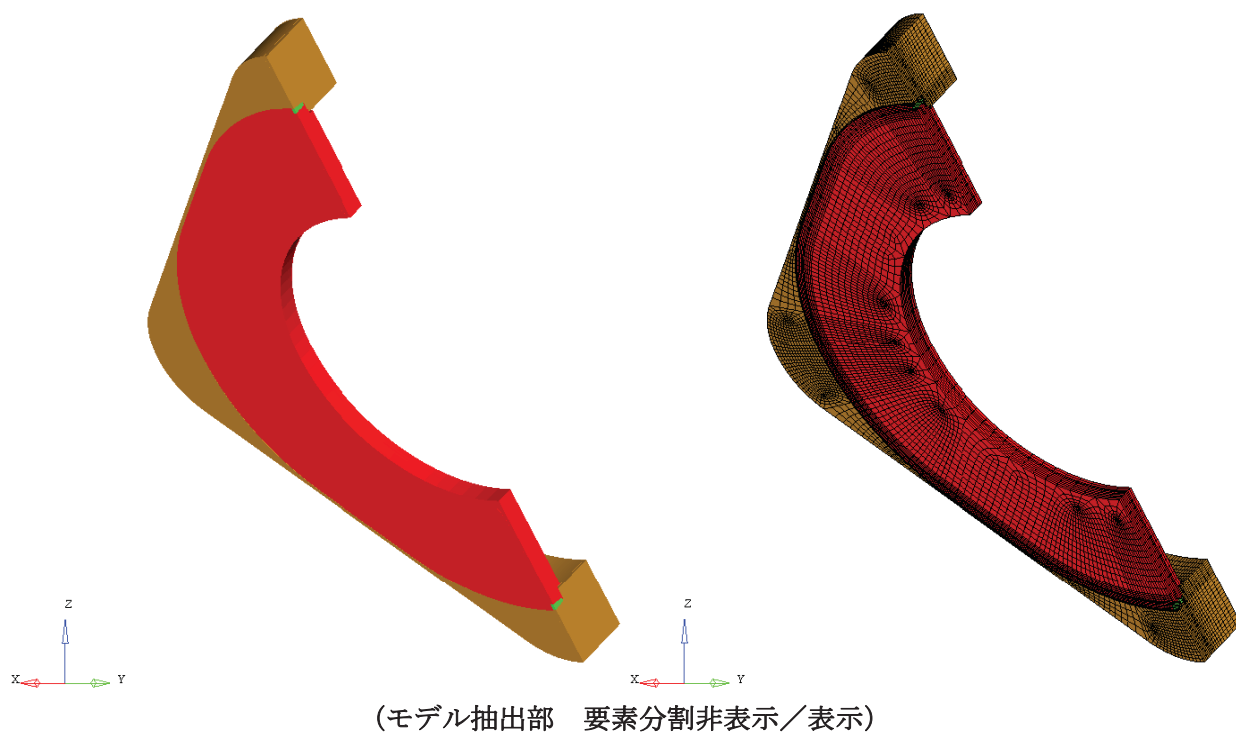


図 3.2.2-32 ケース C K 値解析モデル

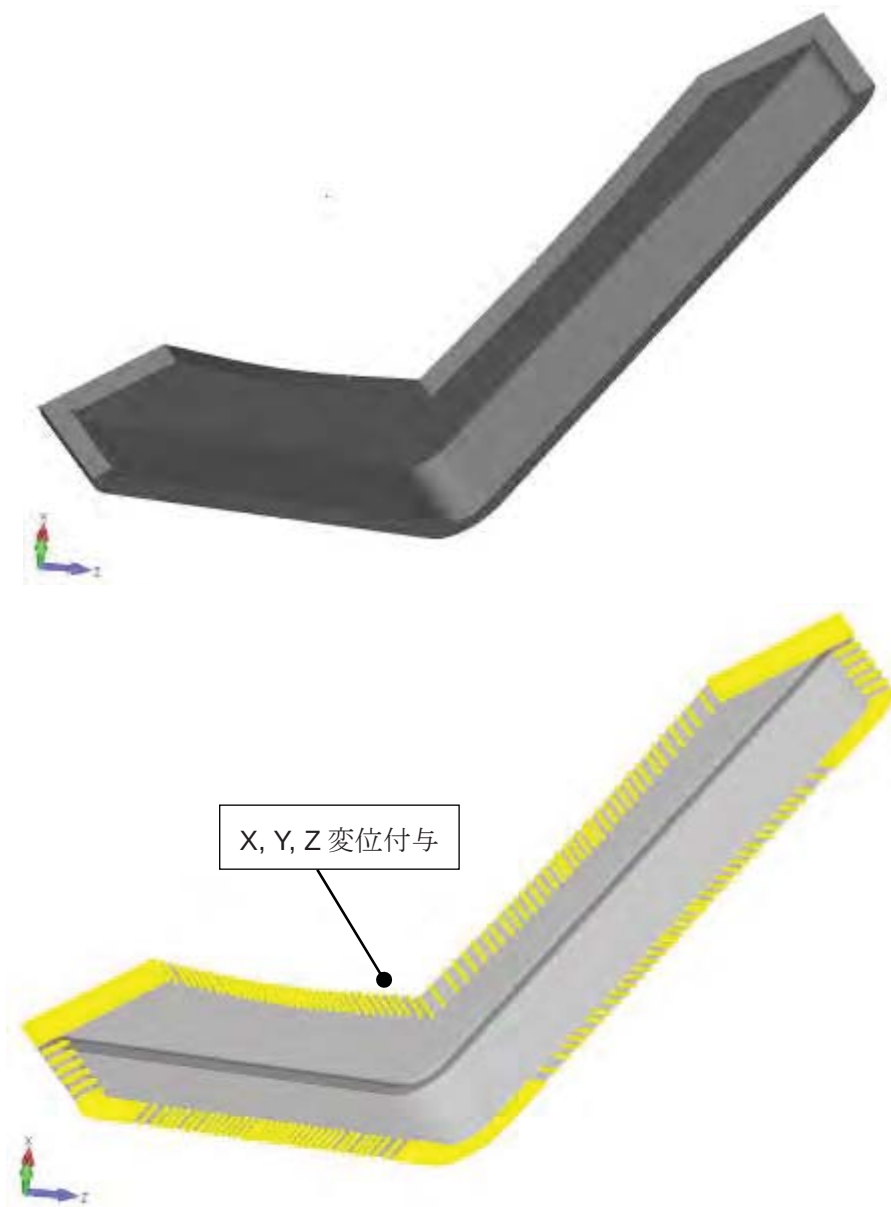


図 3.2.2-33 ケース A 拘束条件

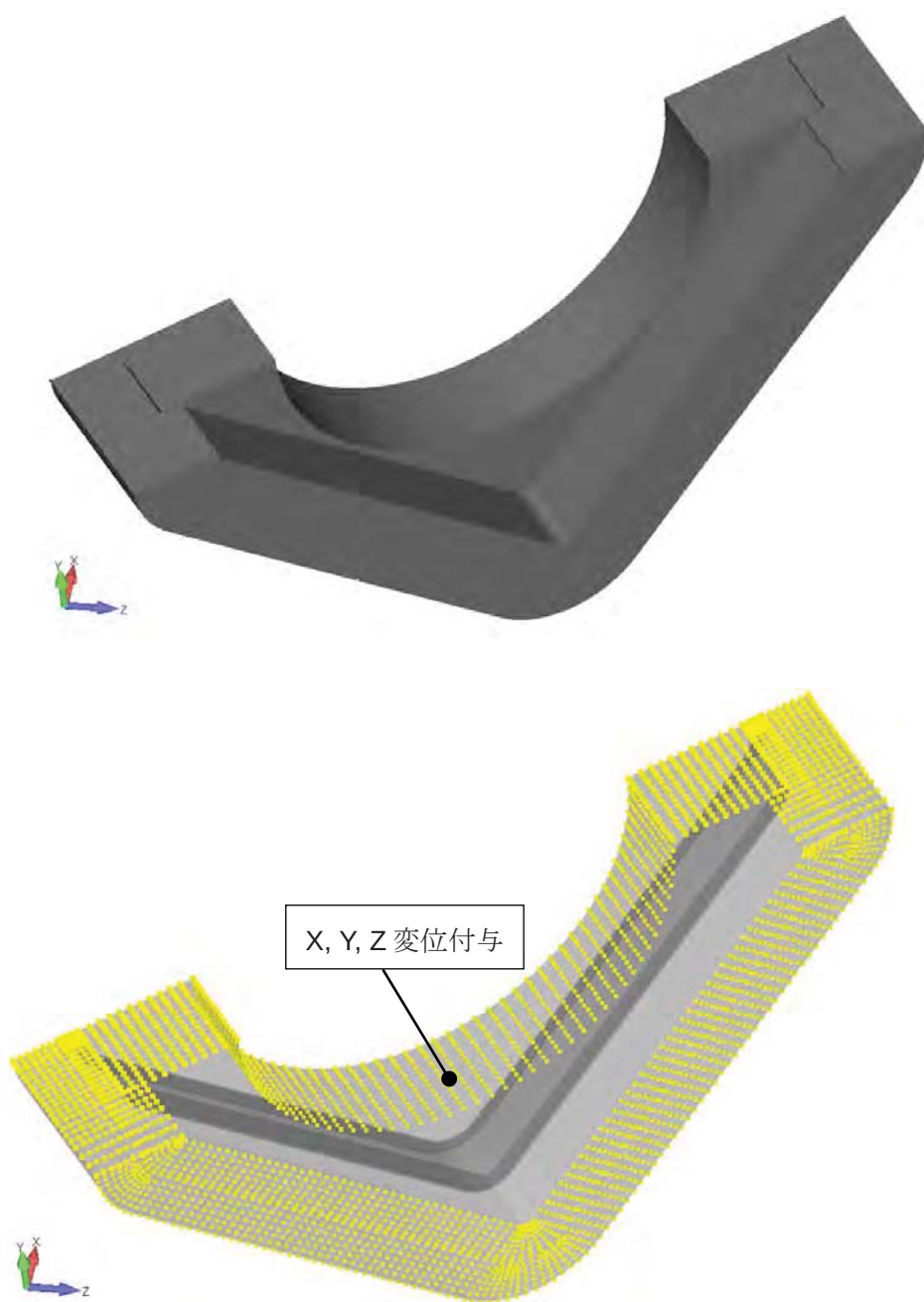


図 3.2.2-34 ケース B 拘束条件

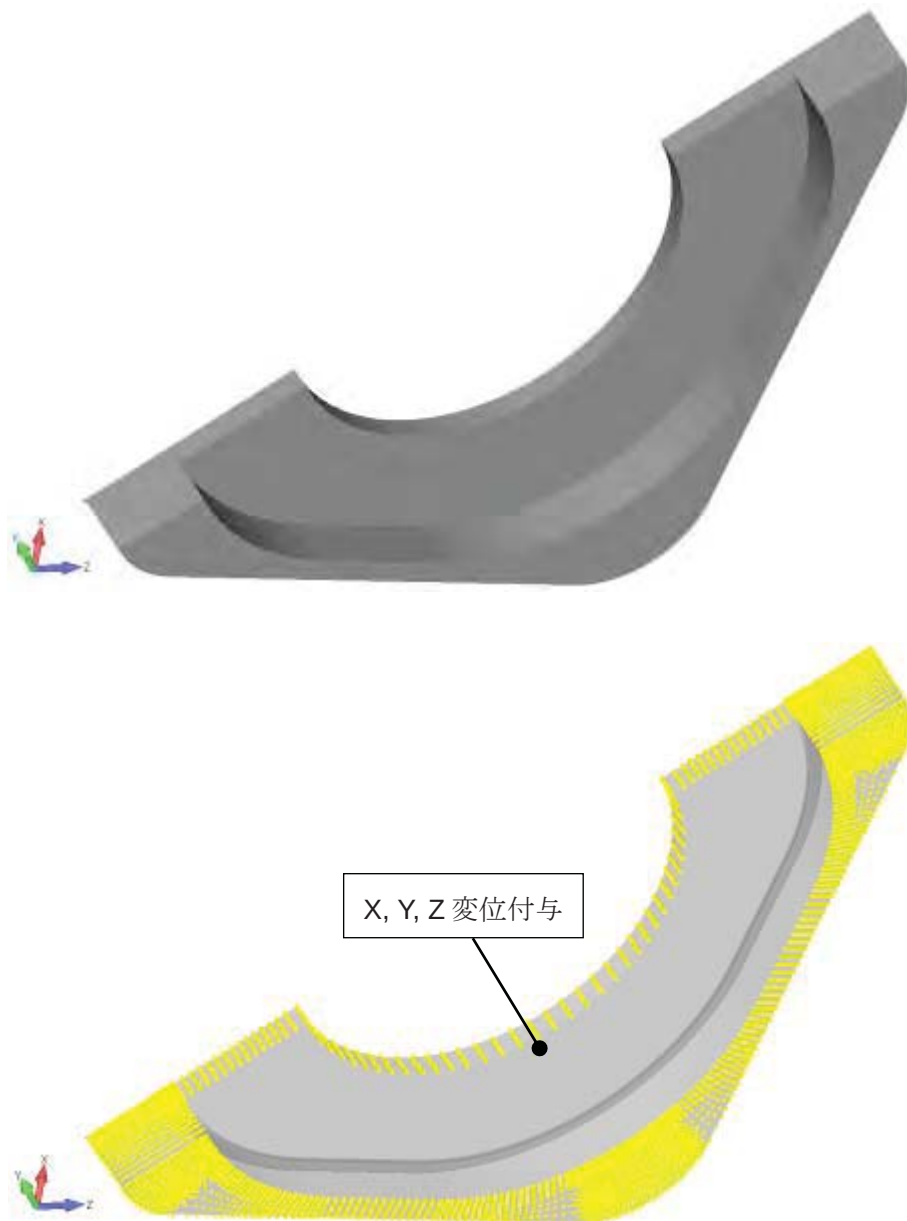
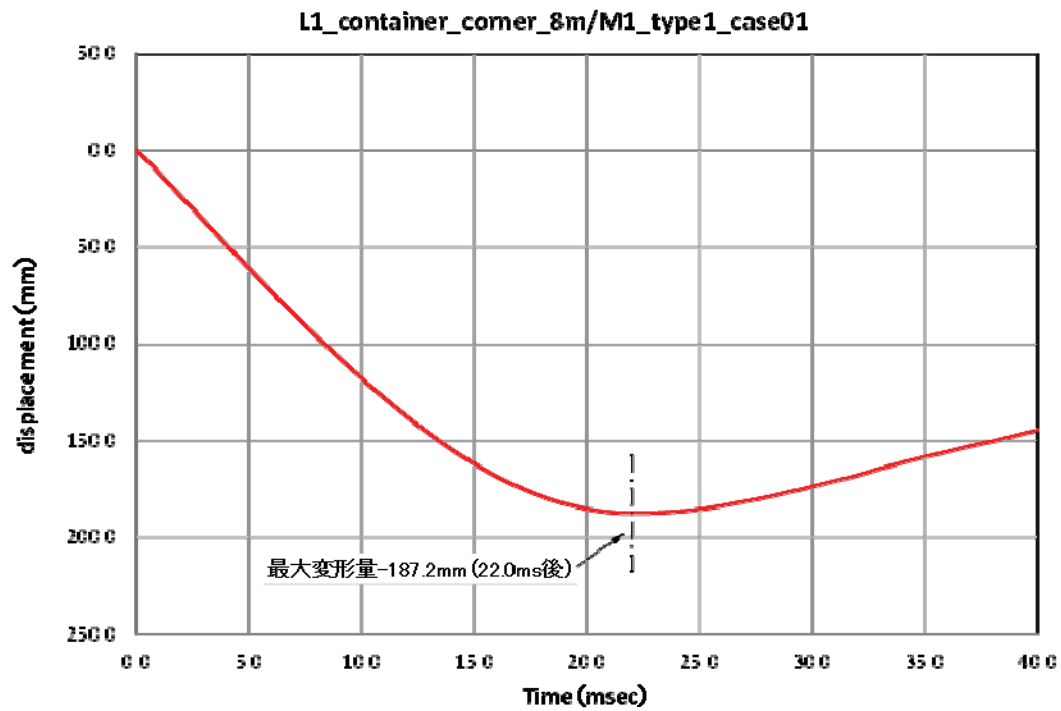


図 3.2.2-35 ケース C 拘束条件

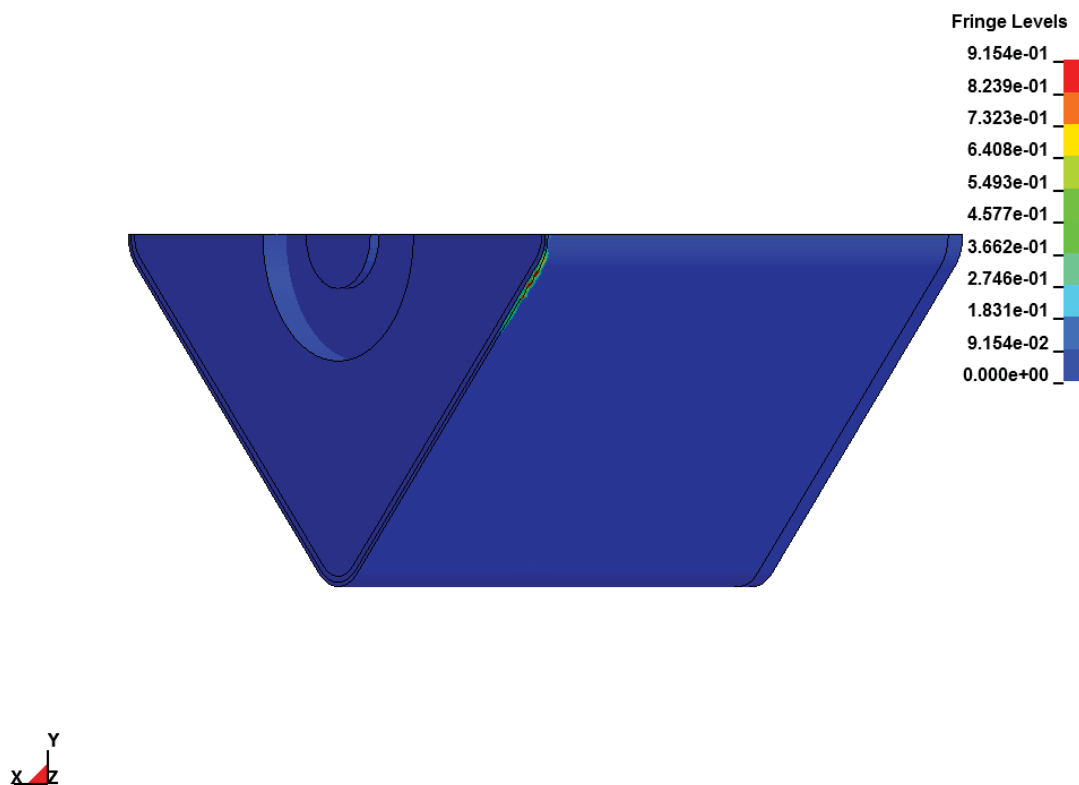
3) 試験結果

a. 落下解析結果

ケース A～C の落下解析結果として、蓋溶接未溶着先端の変位時刻暦と解析終了時刻に容器に発生した相当塑性ひずみを図 3.2.2-36～図 3.2.2-38 にそれぞれ示す。最大塑性ひずみは内容器の角近傍に発生しており、ケース A（50mm 厚容器）が最も大きく、ケース C（50mm 厚容器（角 R 変更））、ケース B（200mm 厚容器）の順に大きい。

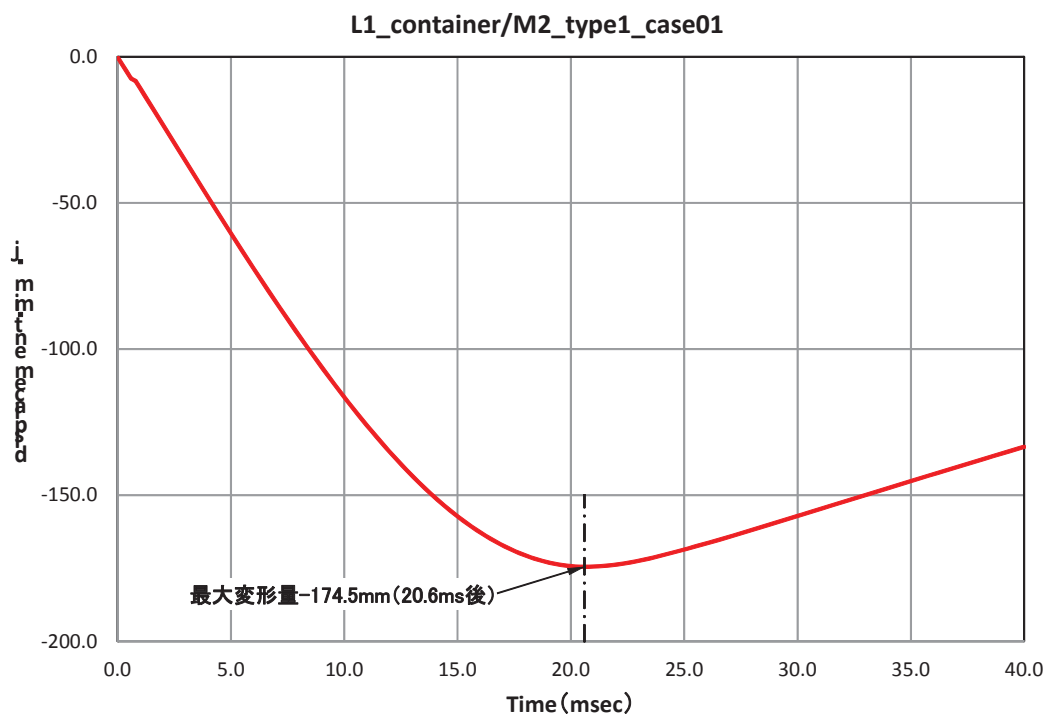


(蓋溶接未溶着先端の変位時刻暦)

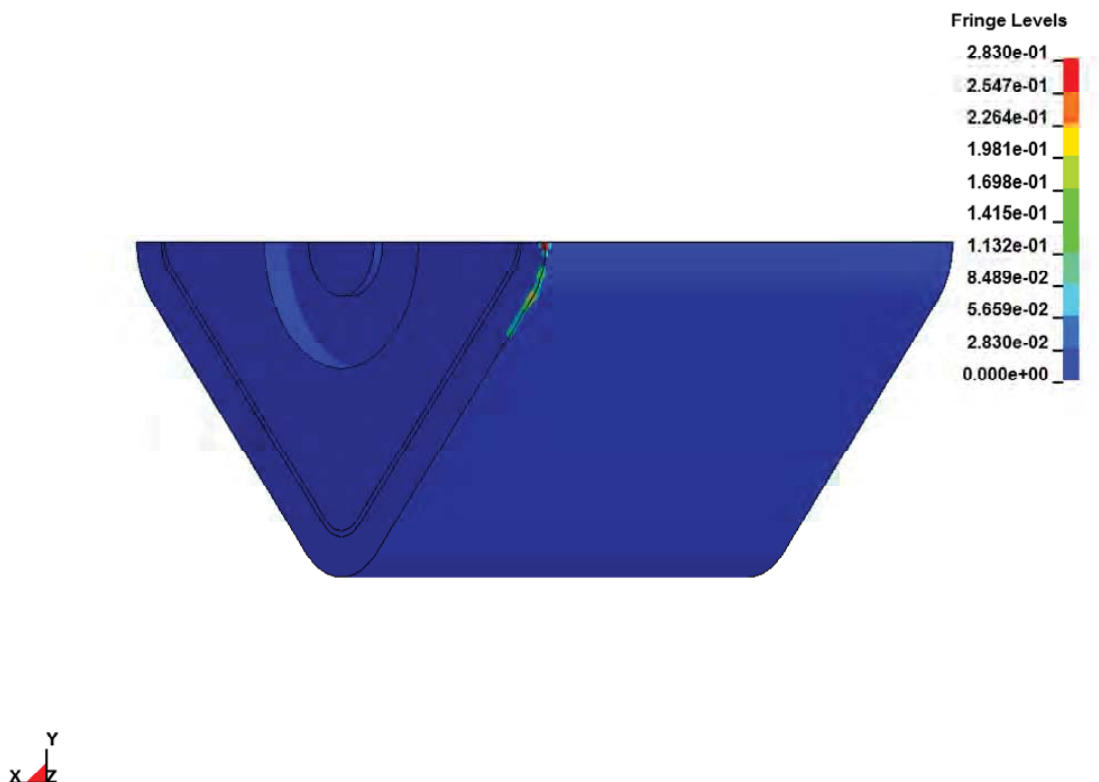


(解析終了時刻に容器に発生した相当塑性ひずみコンター図)

図 3.2.2-36 ケース A 解析結果

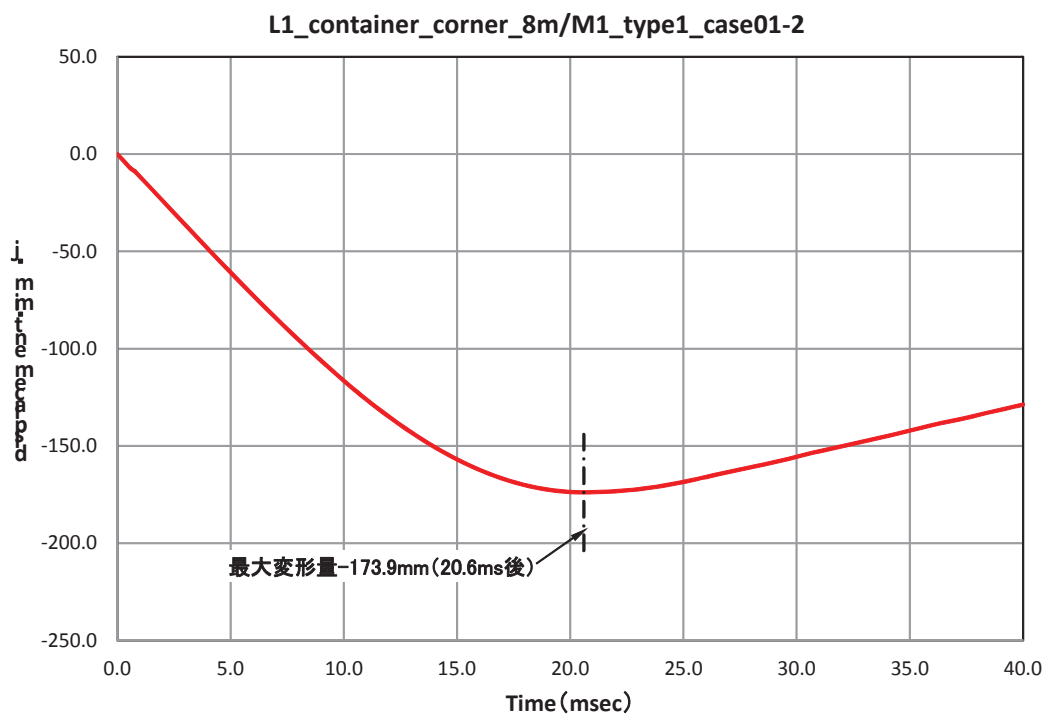


(蓋溶接未溶着先端の変位時刻暦)

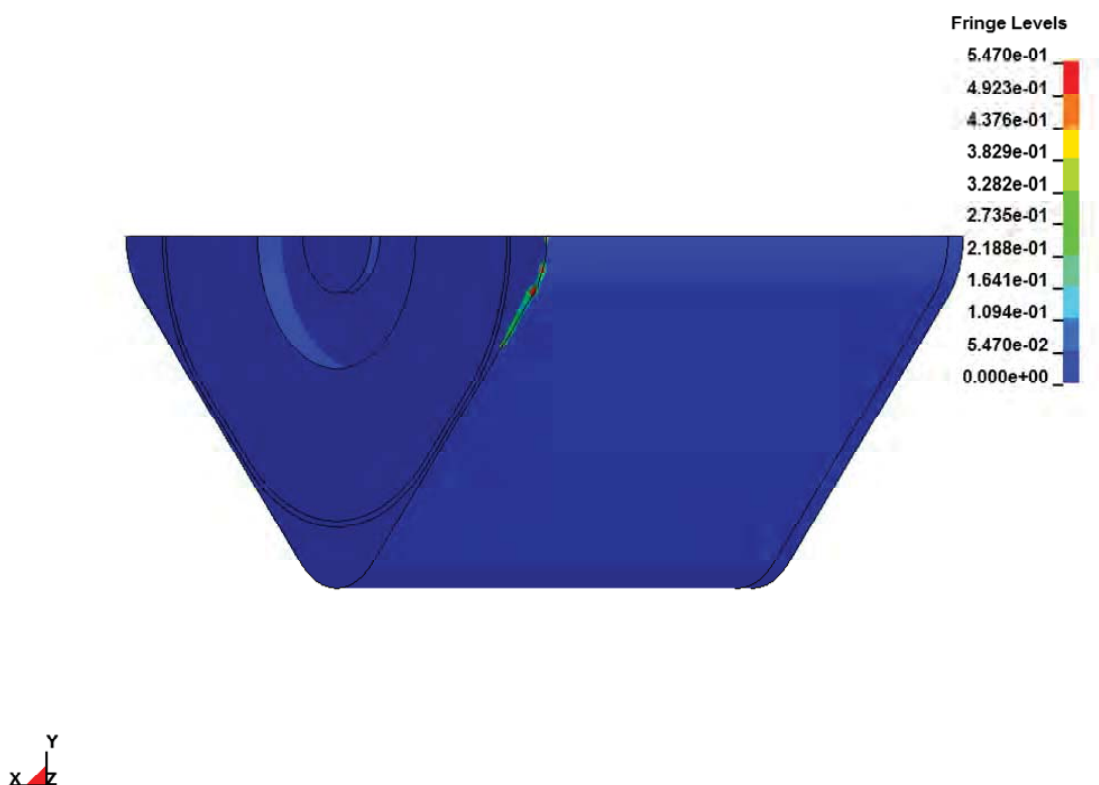


(解析終了時刻に容器に発生した相当塑性ひずみコンター図)

図 3.2.2-37 ケース B 解析結果



(蓋溶接未溶着先端の変位時刻暦)



(解析終了時刻に容器に発生した相当塑性ひずみコンター図)

図 3.2.2-38 ケース C 解析結果

b. K 値解析結果

a.の落下解析結果から、溶接未溶着部の開口が一番大きくなる時点での 3 方向並進変位を K 値解析モデルの抽出面に付与して求めた応力場で、容器の縁に沿った未溶着部につき K 値を算出した。K 値解析モデルで強制変位を付与した端面近傍については、落下解析の要素をそのまま活用するため K 値を算出できない。未溶着先端は、図 3.2.2-39 に示すモードⅠ、モードⅡ、モードⅢの基本変形様式が混在する混合モードとなる。

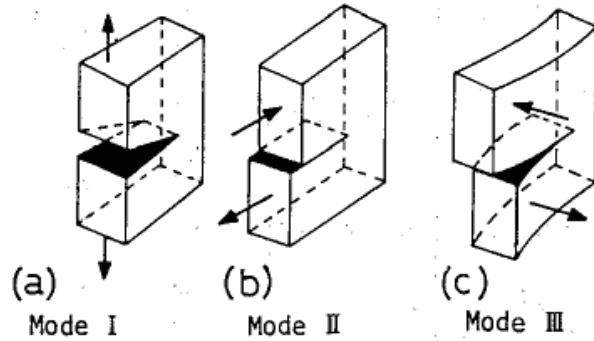


図 3.2.2-39 3つの基本変形モード

モード（Ⅰ＋Ⅱ＋Ⅲ）の混合モード下での脆性破壊基準は、(4)式で表される $K_{\sigma \max}$ が破壊靱性値に到達すると発生するとの考えが一般的である[5]。

$$K_{\sigma \max} = \frac{1}{2} \left\{ K_I \cos \frac{\theta_c}{2} \left(\cos^2 \frac{\theta_c}{2} + 2\nu \right) - K_{II} \sin \frac{\theta_c}{2} \left(3 \cos^2 \frac{\theta_c}{2} + 2\nu \right) \right\} + \frac{1}{2} \left[\left\{ K_I \cos \frac{\theta_c}{2} \left(\cos^2 \frac{\theta_c}{2} - 2\nu \right) - K_{II} \sin \frac{\theta_c}{2} \left(3 \cos^2 \frac{\theta_c}{2} - 2\nu \right) \right\}^2 + 4 K_{III}^2 \cos^2 \frac{\theta_c}{2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 θ_c は予き裂前縁で最大引張応力が作用する面（図 3.2.2-40 の塗り潰した面）と x 軸との角度であり、簡単に言えば、予き裂前縁での最大引張応力が脆性破壊に対する限界応力に達すると脆性破壊が生じるとする考え方である。

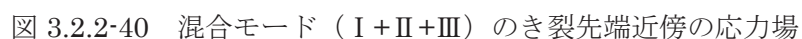


表 3.2.2-14 溶接未溶着部の K 値解析結果

 $0 < \theta_c < 180^\circ$ は容器胴部の外面方向

$\alpha=36^\circ$ 付近で $K_{\sigma \max}$ は最大となっており、その値は $23.3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ である。

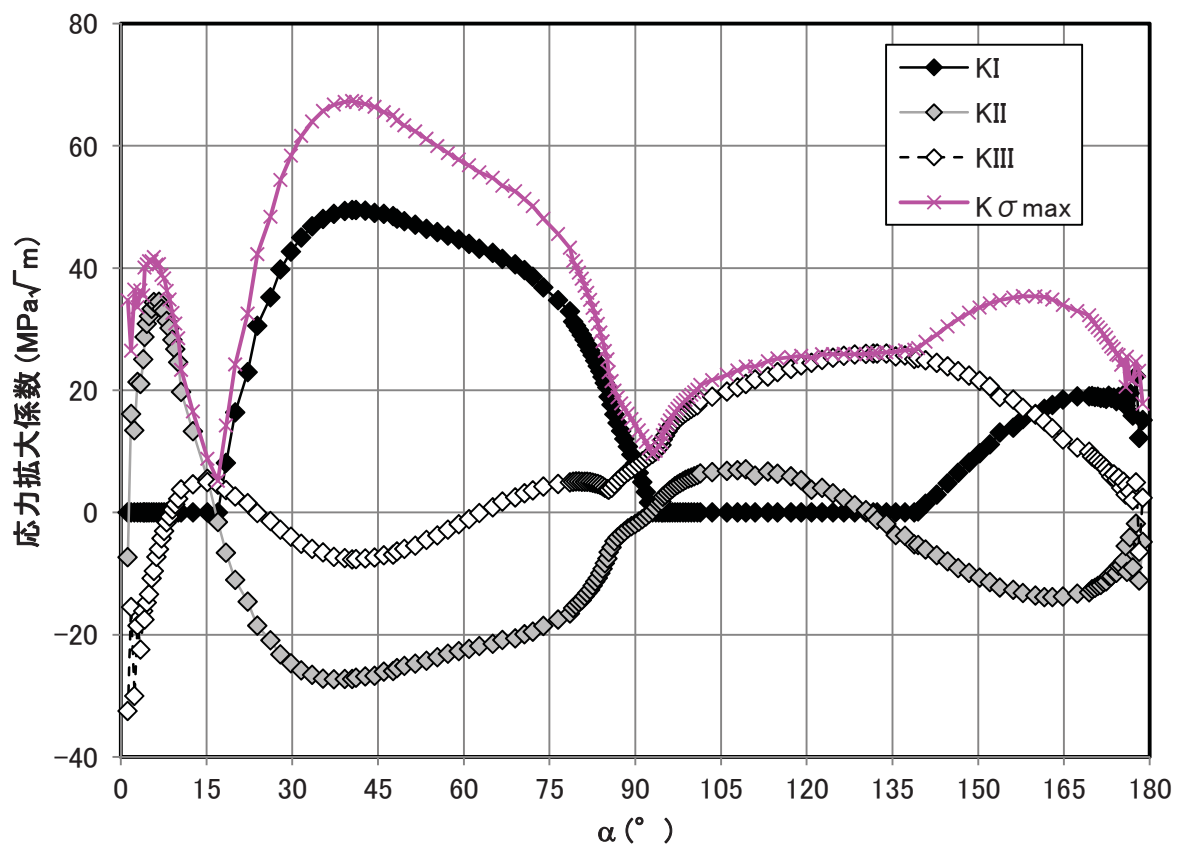
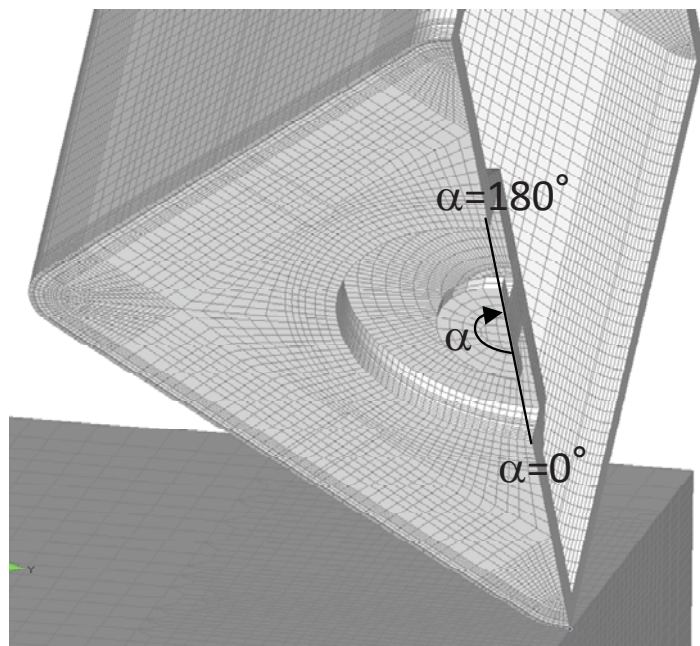


図 3.2.2-41 衝撃落下解析の応力場による K 値 (ケース A)

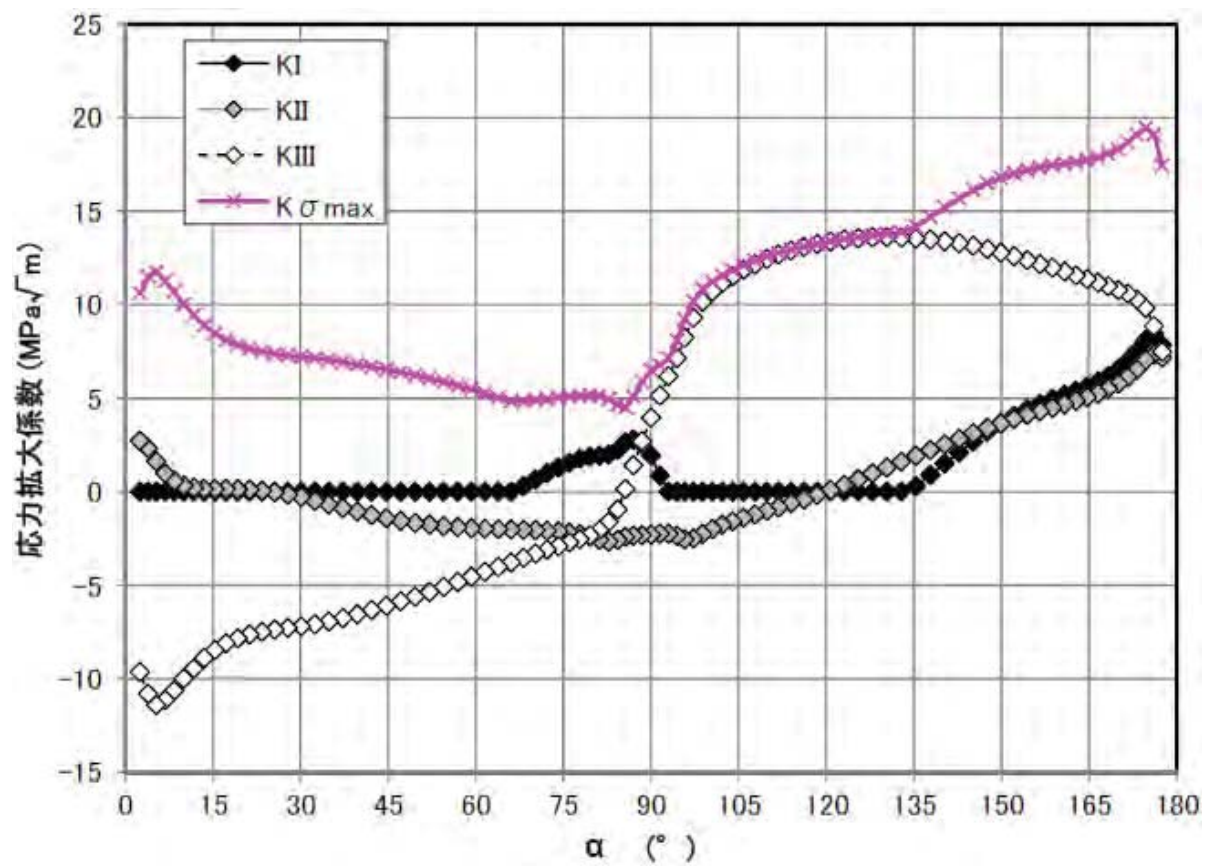
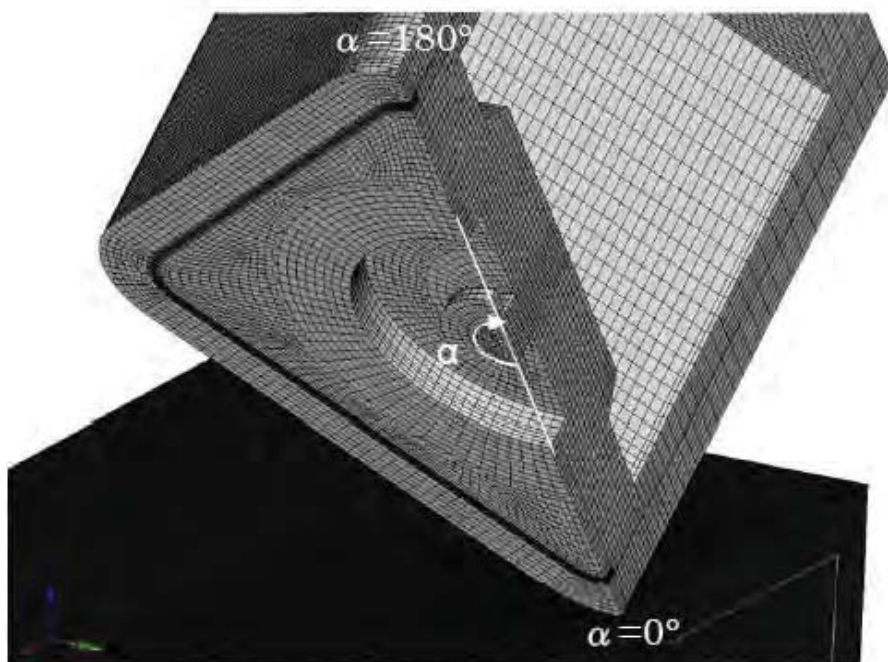


図 3.2.2-42 衝撃落下解析の応力場による K 値 (ケース B)

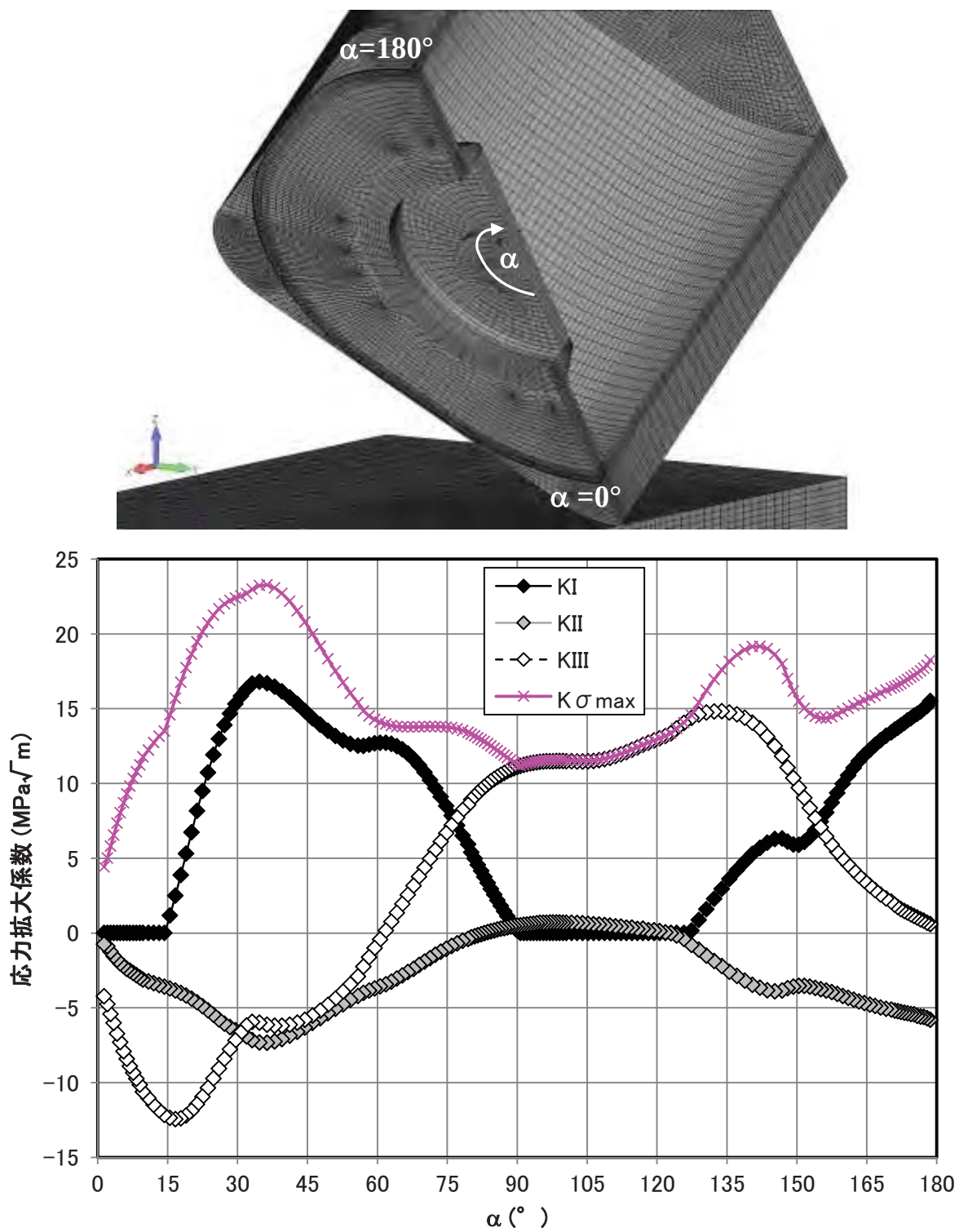


図 3.2.2-43 衝撃落下解析の応力場による K 値 (ケース C)

c. 脆性破壊強度評価

解析で求めた $K_{\sigma \max}$ と材料試験にて評価した破壊靱性値（図 3.2.2-22）を用いて、蓋溶接未溶着部からの脆性破壊の有無を評価した。蓋溶接の未溶着部からの脆性破壊を検討する際の評価対象は、溶接未溶着ままと蓋溶接金属（溶け込み不良や溶接時の未溶着先端での割れを想定）であり、各部位の破壊靱性値の下限(min.K_{Id})は、図 3.2.2-22 で示した破壊靱性試験結果から以下になる。

蓋溶接未溶着ままと : 73 MPa√m

蓋溶接金属 : 51 MPa√m

表 3.2.2-14 の $K_{\sigma \max}$ を上記の破壊靱性値で除した K_r を A、B、C の 3 ケースについてまとめ、表 3.2.2-15 に示す。線形破壊力学では、 $K_r (=K_{\sigma \max} / \min.K_{Id}) < 1$ であれば脆性破壊は生じない。

表 3.2.2-15 各ケースの脆性破壊評価

	ケース A (50mm 厚容器)		ケース B (200mm 厚容器)		ケース C (50mm 厚容器(角 R 変更))	
	未溶着	溶接金属	未溶着	溶接金属	未溶着	溶接金属
$K_{\sigma \max}$ (MPa√m)	67.3		19.5		16.7	
min.K _{Id} (MPa√m)	77	53	77	53	77	53
K_r = $K_{\sigma \max} / \min.K_{Id}$	0.87	1.27	0.25	0.37	0.22	0.32

表 3.2.2-15 にによると、ケース A (50mm 厚容器) の場合、溶接未溶着部では $K_r < 1$ となり脆性破壊は生じないが、今回選定した溶接金属からは脆性破壊が発生することになる。ケース B の 200mm 厚容器では、 $K_{\sigma \max}$ は小さく十分な安全裕度を有している。

同じ 50mm 厚容器でも角 R を大きくしたケース C では落下衝撃が緩和され、溶接金属においても $K_r < 1$ を満足していることが確認できる。このように、50mm 厚容器に対しては容器形状等の設計緒言の見直しによる発生応力の低減や溶接条件を適正化による溶接金属の靱性を改善していくことで、容器の安全性をより確保していくことは可能と考えられる。

鑄造欠陥を直径 2a の penny shaped crack として、作用応力 σ と脆性破壊に対する限界寸法 2a_{cr} の関係を計算する。図 3.2.2-44 に示す penny shaped crack に引張応力 σ が作用する場合の K 値は(5)式で、脆性破壊の発生基準は(6)式で与えられる。

$$\text{penny shaped crack の K 値 : } K = (2/\pi) \sigma \sqrt{(\pi a)} \quad (5)$$

$$\text{脆性破壊基準 : } K = K_{Id} \quad (6)$$

破壊靱性値として図 3.2.2-22 で示した母材の下限值である 72MPa√m を用い、(5)式と

(6)式から σ と $2a_{cr}$ の関係を計算すると、図 3.2.2-45 のように表される。

母材の降伏応力 $\sigma_{0.2}$ は、上述した Bennett らの式³⁾から、ひずみ速度 100/sec での値を計算し、 $\sigma_{0.2}=722 \text{ MPa}$ とした。 $\sigma_{0.2} > 722 \text{ MPa}$ は降伏するので、 $\sigma=722 \text{ MPa}$ が上限となる。 $\sigma=722 \text{ MPa}$ が作用する場合でも、その限界欠陥寸法は $2a_{cr}=15.6 \text{ mm}$ となる。これは、非破壊検査で検出できる欠陥寸法より十分に大きく、鑄造欠陥から脆性破壊が生じる危険性は無いと思われる。

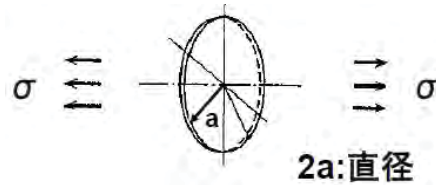


図 3.2.2-44 想定欠陥

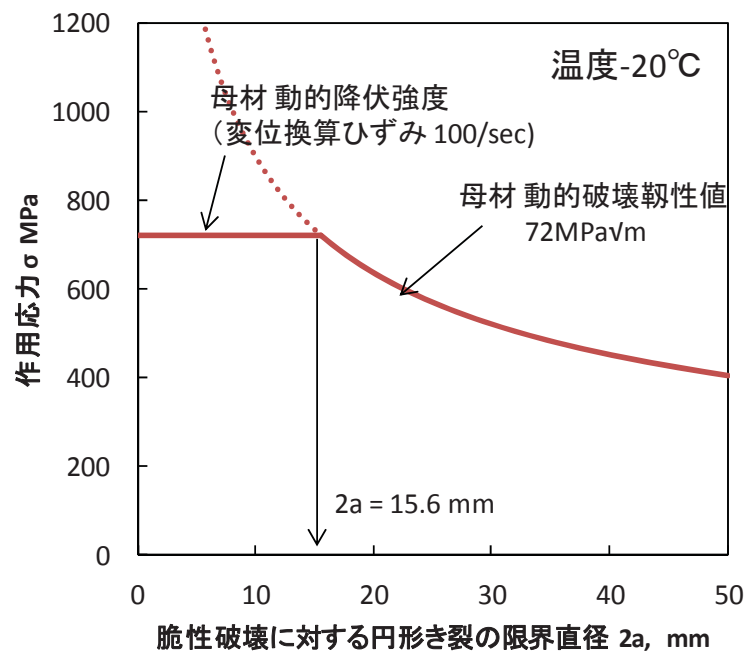


図 3.2.2-45 母材の鑄造欠陥から脆性破壊強度評価

4) まとめ

50mm および 200mm 厚の低合金鋼製容器に対して、溶接部の脆性破壊の有無を破壊力学を適用して評価した。以下に結果概要を示す。

- ・ 200mm 厚容器は十分な安全裕度を有しており、蓋溶接部から脆性破壊は生じない。
- ・ 50mm 厚容器は溶接未溶着部から脆性破壊は生じないが、溶接金属に対しての考慮が必要である。角コーナー R 形状を大きくすれば、発生応力は低減して溶接金属からの脆性破壊は発生しなくなることを確認した。
- ・ 脆性破壊に対する母材の許容欠陥寸法は、15.6mm と推定された。非破壊検査で検出できる欠陥寸法より十分に大きく、鑄鋼品として問題ないレベルと考えられる。

上述した容器落下時の耐久性評価から、母材だけでなく溶接材料の低温靱性の確保も重要であることがわかった。溶接作業環境、作業性、内容物の確認プロセスも考慮しながら、溶接材料および溶接方法を今後適正化していく必要がある。また、今回は動的解析を行い容器落下時の安全性評価を行ったが、容器緒言を決定するにあたっては、安全率を含めた設計指針の検討が別途必要であると考えられる。

(4) 鋳鋼品の衝撃値ばらつき原因の把握

1) 目的

特に大型の鋳鋼品は、成分偏析など様々な要因で材料が不均一となり、低温衝撃値にばらつき（異常値）が生じることがある。ばらつきを考慮した材料規格の検討のため、試験片位置によるばらつきの原因を調査する。

2) 試験方法

a. 供試材

ここでの調査は、平成 27 年度に実施した 200mm 厚容器モックアップ試験にけるシャルピー衝撃試験片を用いた。シャルピー試験片の採取位置、化学成分（炭素当量 C_{eq} ）、焼入れ冷却速度、シャルピー試験結果を表 3.2.2-16 にまとめて示す。

表 3.2.2-16 供試材

試験片採取部位		化学成分 C_{eq} (%)	焼入冷却速度 (°C/min)	-20°Cシャルピー 吸収エネルギー (J)
本体 (底面)	1/4T	0.45	34	82
	2/4T	0.47	29	122
	3/4T	0.45	29	147

$$C_{eq} (\%) = [C] + [Si]/24 + [Mn]/6 + [Ni]/40 + [Cr]/5 + [Mo]/4 + [V]/14$$

b. 試験方法

試験方法を以下に示す。

- ・ SEM 観察： 鋳造欠陥の有無を確認するため、シャルピー衝撃試験後の破面を SEM にて観察する。
- ・ ミクロ組織観察： ミクロ組織の差異を確認するため、シャルピー試験片の破面断面断面のミクロ組織を光学顕微鏡で観察する。
- ・ 非金属介在物分析： ミクロ組織観察した試験片に対し、SEM と自動 EDS 粒子解析システムにより、スキャン領域における粒子を検出し、EDS

分析結果から酸化物および硫化物をそれぞれ識別する。

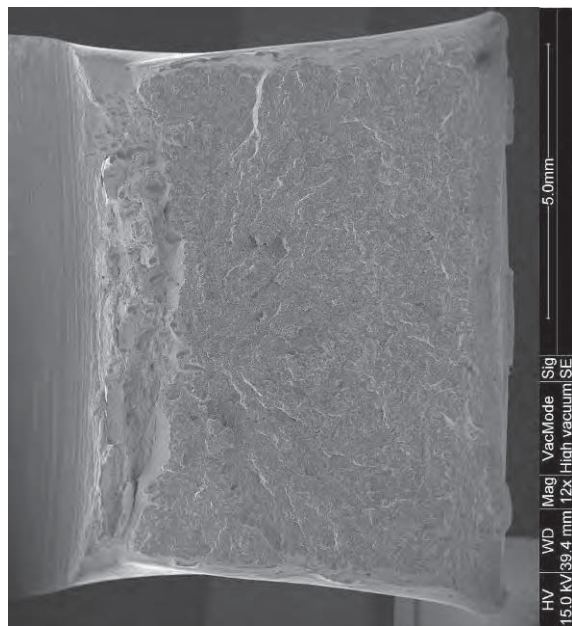
3) 試験結果

a. SEM 観察結果

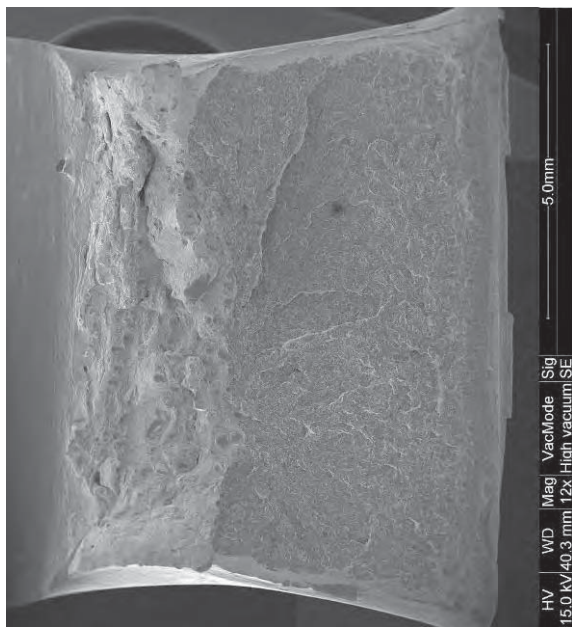
供試材の破面 SEM 観察結果を図 3.2.2-46 に示す。破面上には鑄造欠陥などの有害な欠陥は認められなかった。

b. ミクロ組織観察

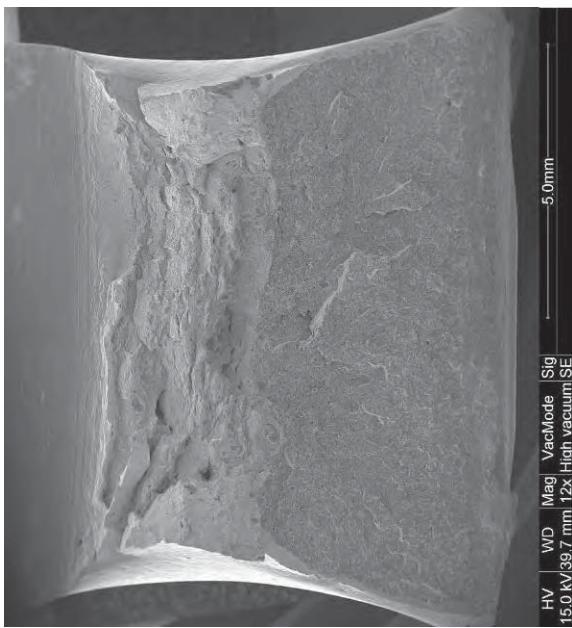
供試材の破面断面のミクロ組織を観察した結果を図 3.2.2-47 に示す。ミクロ組織はいずれもベイナイトを主体としており、試験片位置による顕著な差異は認められなかった。



(a) 1/4T 82J



(b) 2/4T 122J

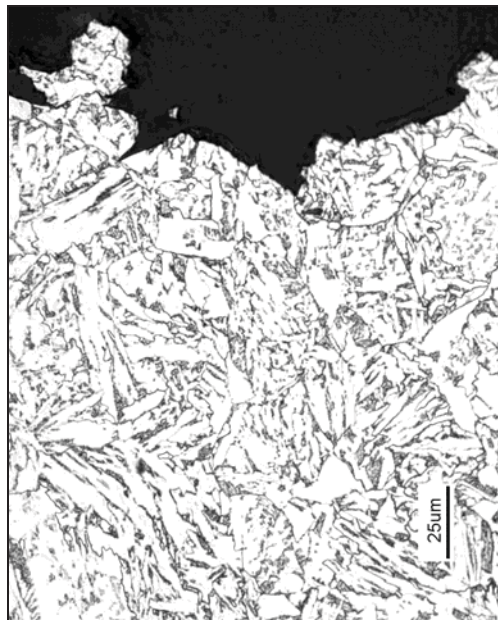


(c) 3/4T 147J

図 3.2.2-46 供試材の破面 SEM 観察結果



(a) 1/4T 82J



(b) 2/4T 122J



(c) 3/4T 147J

図 3.2.2-47 供試材の破面断面のミクロ組織観察結果

c. 非金属介在物分析結果

自動 EDS 粒子解析により検出した供試材の非金属介在物の個数と試験片のシャルピー吸収エネルギーの関係を図 3.2.2-48 に示す。ここでは、試験片毎に評価面積が異なるので、それぞれ 1cm^2 当たりの個数で整理している。図 3.2.2-48 から、非金属介在物の個数とシャルピー吸収エネルギーには相関があり、非金属介在物が多いほど吸収エネルギーは減少することがわかる。図 3.2.2-49 に、検出した非金属介在物組の成分分析結果をに示す。本調査では、SEM 内で指定領域をスキャンし、検出された個々の非金属介在物粒子の組成を EDS 分析している。図 3.2.2-49 から、非金属介在物はマンガン (Mn) や硫黄 (S) の濃度が検出され、硫化物である MnS を主体としていることがわかる。この結果からも、低温靱性の確保には、硫化物の生成起源となる S 濃度を低減することは重要と考えられる。

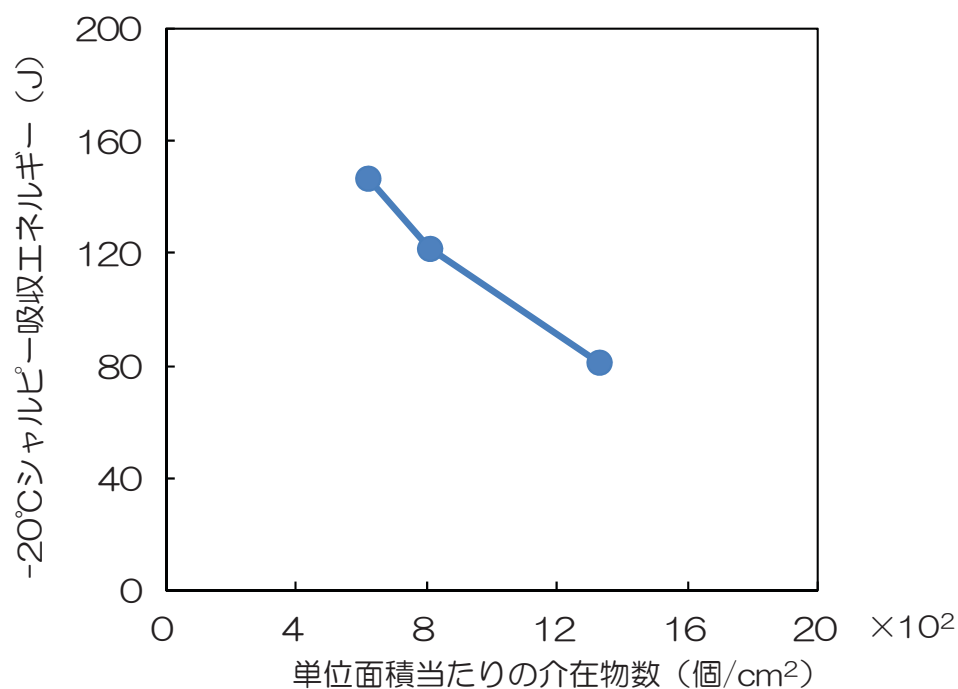
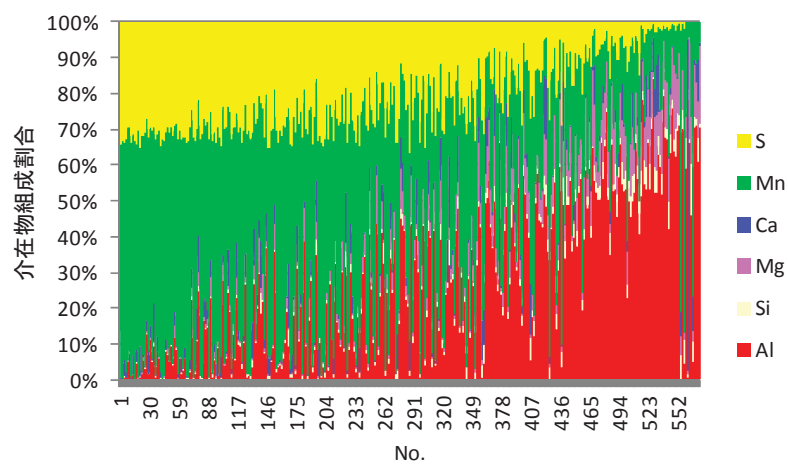


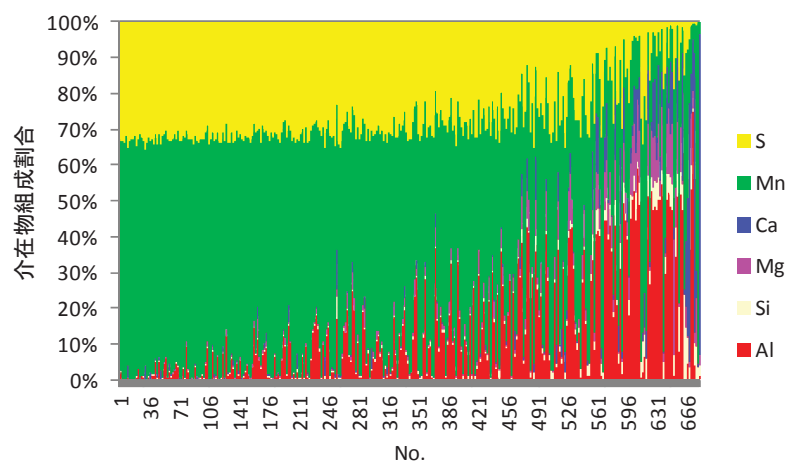
図 3.2.2-48 供試材の非金属介在物の個数と試験片のシャルピー吸収エネルギーの関係

4) まとめ

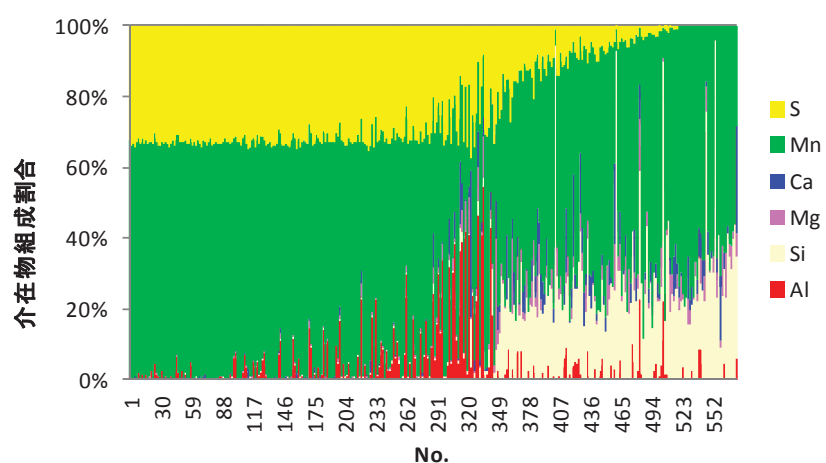
200mm 厚の内容器の各部位より採取した試験片に対し、低温衝撃値に影響すると考えられるミクロ組織と非金属介在物を調査して比較した。ミクロ組織は大きな差異は認められなかったが、硫化物のような非金属介在物が多い部位で低温衝撃値は減少することがわかった。以上の結果からも硫化物の生成起源となる S 濃度の低減は重要と考えられる。



(a) 1/4T 82J (評価面積 : 43mm²)



(b) 2/4T 122J (評価面積 : 84mm²)



(c) 3/4T 147J (評価面積 : 100mm²)

図 3.2.2-49 自動 EDS 粒子解析による供試材の非金属介在物組成分析結果

3.2.3 再利用プロセスの開発

(1) 目的

再利用プロセスの開発では、内容器の設計、材料規格案の策定、及び再利用プロセスの開発を行う。平成 27 年度には内容器の設計を行った。また、原子力発電所の廃止措置に伴い発生するクリアランス金属廃棄物を適切に回収・分別・保管する方法、内容器の製造工場における原料となるクリアランス金属廃棄物等の配合方法、精錬（原料を溶解した後不純物を除去する）方法からなる再利用プロセスを開発は、ここまでの開発成果をもとに平成 29 年度実施予定である。

ここでは、材料規格案について、最終的に取りまとめる平成 29 年度に向けて、適用範囲など、その考え方などについて整理する。

(2) 材料規格案の策定

1) 材用規格案の概要

材料規格案の策定にあたり、ここで検討している内容器を収納する外容器、余裕深度処分対象廃棄物の処分容器材料に関して設定されている標準に関して調査した。

余裕深度処分対象廃棄物の処分容器では、学会標準において、JIS G 3106:2008 溶接構造用圧延鋼材、種類：SM490 相当と規定されている。そこで、JIS G 3106:2008 溶接構造用圧延鋼材にて規定されている内容に準じて項目などを検討するものとした。

2) 材用規格案の項目案

内容器の材料規格案について、以下の項目が必要と考えられた。

- ① 適用範囲
- ② 化学成分および炭素当量
- ③ 機械的性質
- ④ 製造方法
- ⑤ 非破壊検査
- ⑥ 試験および検査

適用範囲では、この材料規格が適用される範囲を規定する。例えば、以下のような規定が想定される。

「この規定は、原子力発電所などから発生する低レベル放射性廃棄物の遮へい体または遮へい機能を有する容器に使用する鋳鋼品について適用する。」

化学成分および炭素当量では、内容器に求められる性能から表 3.2.3-1 に示す化学成分の規定が必要と考えられる。ここで、内容器材料は低温脆性に関する性能が重要であることから、炭素当量についての規定が併せて必要と考えられる。

表 3.2.3-1 化学成分

化学成分（単位％）										
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Sn	Ceq.

ここで、Ceq は以下の通りである。

$$\text{炭素当量 Ceq (\%)} = \text{C} + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Ni}/40 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{V}/14$$

ここで、Ceq は以下の通りである。

$$\text{炭素当量 Ceq (\%)} = \text{C} + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Ni}/40 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{V}/14$$

これら各元素の化学成分範囲について、基礎試験結果などから設定する。

機械的性質については、基礎試験による評価から、その降伏点または耐力、引張強さ、伸び、絞り、シャルピー吸収エネルギーについての規定が考えられる。表 3.2.3-2 に機械的性質の規定例を示す。

表 3.2.3-2 機械的性質

種別	降伏点または耐力 / MPa	引張強さ / MPa	伸び / %	シャルピー吸収エネルギー		
				温度 / °C	3 個の 平均値 / J	個別の値 / J
1 種						
2 種						
...						

規定値は、基礎試験の結果などをもとに設定する。ここで、種別は内容器材料に求められる要件から、主にシャルピー吸収エネルギー値で分けることが考えられる。

製造方法については、製造方法の一般事項は、日本工業規格（JIS）での鋳鋼品に関する規定（JIS G 0307）によることが想定される。また、その他必要事項として、熱処理及び溶接補修についての規定が必要と考えられる。

非破壊検査、試験および検査については、上記と同様に日本工業規格（JIS）での鋳鋼品に関する規定（JIS G 0307）によることが想定される。分析試験、機械的試験、及び非破壊検査の規定が必要と考えられる。

(3) まとめ

材用規格案について、その項目案について検討した。

必要と考えられる項目案を抽出すると共に、その内容の考え方について整理した。

今後の材料規格案の策定に向けて、基礎試験結果及び実証試験結果をもとに具体的な数値範囲などを設定する。また、この案をベースして、用途拡大も考慮して検討を進める必要があると考えられた。

4. 再利用プロセスの評価

4.1 概要

日本原子力発電株式会社の東海発電所で発生した実際のクリアランス金属を用いて、日本製鋼所室蘭製作所での実物大内容器の試作を含む実証試験を行った。

実証試験にあたっては、クリアランス金属を用いた場合の製品、工場設備、発生物（産業廃棄物）への放射能の影響度合いを調査すると共に、試作した内容器の放射線遮へい能力（密度）や耐久性（機械的特性）の確認を行った。

クリアランス金属廃棄物の受け入れに当たっては、実証試験を円滑に進めるために、関係者との調整を行った。

4.2 実証試験の実施

4.2.1 地元関係者への事前説明

今回用いたクリアランス金属は茨城県東海村にある日本原子力発電株式会社東海発電所の燃料取替機トランスポートのレールを解体したものである。この燃料取換機トランスポートは英国のリチャードソン・ウェスト・ガース社が製作し、昭和 38 年 7 月から昭和 39 年 2 月に東海発電所に据付けられたものである。

このクリアランス金属を運び出すに当たり、日本原子力発電株式会社の協力を得て、昨年度（平成 27 年度）のうちに茨城県地元官庁（茨城県庁、東海村、日立市）に本事業の概要及びクリアランス金属を東海村から運び出すことを説明し、了承いただいている。

一方、クリアランス金属を受け入れる室蘭市側に対しては、地元住民への安心・理解活動のため、平成 27 年 11 月 27 日、28 日に住民説明会を実施し、更にクリアランス金属受け入れ前の平成 28 年 6 月 28 日に事業報告会を実施した。

平成 28 年 6 月 28 日に実施した事業報告会の説明者は、日本製鋼所、神戸製鋼所及び電気事業連合会であり、「本事業の必要性と目的」、「平成 27 年度事業結果及び平成 28 年度事業計画の概要」及び「クリアランス金属搬入時の実施事項」について、スクリーン資料に基づき説明した。資料は、当日印刷物としても配布された。

事業報告会の事前のお知らせは、新聞広告（北海道新聞及び室蘭民報：平成 28 年 6 月 14 日及び 6 月 21 日の朝刊にて）により行った。

事業報告会では、アンケート調査を行い、説明会の満足度及びクリアランス金属を再利用することに対する考えを質問したところ、昨年度の評価と同様、回答者の約 7 割の方から満足できたとの評価をいただき、再利用に関しても同様の割合で肯定的な意見をいただいた。

この事業報告会について、参加者の皆様からのご質問やアンケート結果などの事業報告会の概要、アンケート結果、及びいただいた主なご質問及びその回答（Q&A）を巻末に添付する。

4.2.2 クリアランス金属輸送実績

クリアランス金属を室蘭まで輸送する方法として、東海発電所からトラックで日立港に搬送し、日立港から室蘭港まで直接船輸送とする方法を採用した。

クリアランス金属の東海発電所からの持ち出しから日立港までのトラック輸送の管理は、日本

原子力発電株式会社に委託し、盗難・飛散を防止する観点から、クリアランス金属は蓋付き専用容器に入れて輸送した。クリアランス金属約 60 トンを 14 個の専用容器に詰替え、専用容器の蓋を開放した状態でクリアランス金属表面の線量当量率を測定した結果を表 4.2.2-1 に示し、測定箇所を図 4.2.2-1 に示す。

表 4.2.2-1 専用容器詰め替え後のクリアランス金属表面線量当量率測定結果

容器 No.	測定箇所	線量当量率 (μ Sv/h)	備考
1～14	①	0.03	・測定器 : NaI (Tl) シンチレーション測定器 ・検出限界 : 0.01μ Sv/h ・測定日 : 平成 28 年 6 月 2 日～17 日 ・周辺のバックグラウンド (地面から 1m 地点) : $0.05 \sim 0.08 \mu$ Sv/h
	②	0.03	
	③	0.03	
	④	0.03	
	⑤	0.03	



図 4.2.2-1 専用容器詰め替え後のクリアランス金属表面線量当量率測定箇所

表 4.2.2-1 の測定結果は測定器が示した値であり、バックグラウンドを含む。測定結果は専用容器 14 個とも全て同じ値であり、いずれも周辺のバックグラウンドを超えるような値は検出されなかった。これは地表からの放射線がクリアランス金属で遮蔽されたこと、及びクリアランス金属自身からは検出感度を越える放射線が放出されていなかったことが推察される。

次に東海発電所からクリアランス金属を持ち出す際に、外来性の放射能も考慮して、14 個の専用容器を 2 個ずつトラックに積載し、ゲートモニターで異常有無を確認した。専用容器を載せたトラックの様子を図 4.2.2-2 に示し、測定結果を表 4.2.2-2 に示す。なお、トラックの移動速度は 6～9km/h である。



図 4.2.2-2 専用容器を載せたトラックの様子

正味の測定結果はいずれも $0.01 \mu\text{Sv/h}$ を超えるような値は検出されず、外来性の放射能が付着した確率は極めて低いことを確認した。

表 4.2.2-2 ゲートモニター通過時の線量当量率測定結果（原電）

容器 No.	検出器	最高値 (μ Sv/h)	バックグラウンド (μ Sv/h)	正味線量当量率 (μ Sv/h)
1,2	①	0.0546	0.0550	-0.0004
	②	0.0783	0.0791	-0.0008
	③	0.0565	0.0570	-0.0005
	④	0.0537	0.0542	-0.0005
3,4	①	0.0543	0.0554	-0.0011
	②	0.0758	0.0782	-0.0024
	③	0.0567	0.0573	-0.0006
	④	0.0534	0.0541	-0.0007
5,6	①	0.0536	0.0550	-0.0014
	②	0.0769	0.0782	-0.0013
	③	0.0561	0.0578	-0.0017
	④	0.0530	0.0540	-0.0010
7,8	①	0.0542	0.0552	-0.0010
	②	0.0774	0.0784	-0.0010
	③	0.0563	0.0577	-0.0014
	④	0.0534	0.0548	-0.0014
9,10	①	0.0544	0.0556	-0.0012
	②	0.0795	0.0806	-0.0011
	③	0.0578	0.0585	-0.0007
	④	0.0540	0.0547	-0.0007
11,12	①	0.0544	0.0557	-0.0013
	②	0.0795	0.0811	-0.0016
	③	0.0569	0.0584	-0.0015
	④	0.0544	0.0553	-0.0009
13,14	①	0.0551	0.0559	-0.0008
	②	0.0785	0.0782	0.0003
	③	0.0578	0.0582	-0.0004
	④	0.0540	0.0547	-0.0007

※1 太字は正味最高値、※2 警報設定値は 0.01 μ Sv/h

東海発電所から日立港へのクリアランス金属専用容器持ち込み風景を図 4.2.2-3 及び図 4.2.2-4 に示す。専用容器は 7 月 5 日の船積みまで野外においてブルーシートで覆い保管した。



図 4.2.2-3 専用容器 8 箱持ち込んだ様子（平成 28 年 6 月 29 日）



図 4.2.2-4 専用容器 6 箱持ち込んだ様子（平成 28 年 6 月 30 日）

クリアランス金属輸送時の安全性を確認するために、輸送船にクリアランス金属を積込する前（日立港）、積込後（日立港）、積卸後（室蘭港）の計三回、船内 13 箇所の線量当量率（ μ Sv/h）測定を実施した。測定箇所を図 4.2.2-5、搭載後の測定の様子を図 4.2.2-6 に示す。

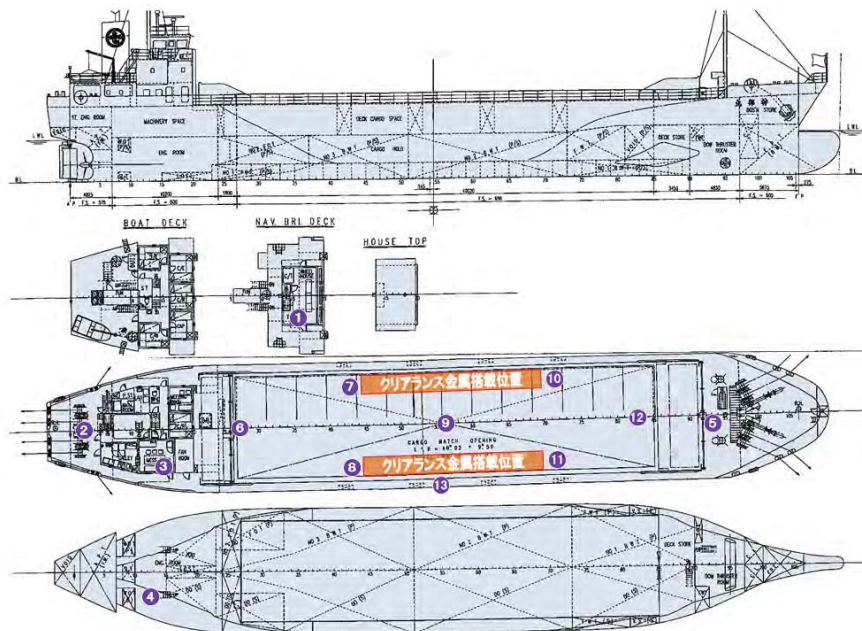


図 4.2.2-5 輸送船内の線量当量率測定箇所



図 4.2.2-6 クリアランス金属積込後の輸送船内の線量当量率測定の様子
(平成 28 年 7 月 5 日)

輸送船内 13 箇所の線量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）測定結果を表 4.2.2-3 に示し、用いた放射線測定器の仕様を表 4.2.2-4 に示す。表 4.2.2-3 の結果から、クリアランス金属の輸送船への放射能の影響は認められなかった。

表 4.2.2-3 輸送船内の線量当量率測定結果

測定箇所	測定値 線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)					
	積込前（日立）		積込後（日立）		積卸後（室蘭）	
	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
①ブリッジ(船橋)、接舷側入口	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
②船尾、上甲板	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
③船室、乗組員サロン入口	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
④エンジンルーム入口	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
⑤船首、上甲板	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
⑥ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
⑦ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
⑧ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
⑨ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
⑩ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
⑪ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
⑫ホールド(船倉)内	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
⑬接舷側舷側	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03

表 4.2.2-4 放射線測定器の仕様

測定器	:	エネルギー補償形 γ 線用シンチレーションサーベイメータ
形式	:	TCS-172B（製造番号:204F0496）
測定レンジ	:	0～30 $\mu\text{Sv/h}$ 自動レンジ切替え
検出限界	:	0.01 $\mu\text{Sv/h}$

日立港から室蘭港までの船輸送後、室蘭港岸着船上渡しでクリアランス金属を荷揚げし、通常の原料受入れと同様、ゲートモニターで放射能の影響を確認した。また、保管前後のクリアランス金属保管場所及び専用容器内のクリアランス金属の放射能の影響も調査した。その際、室蘭関係団体・関係機関（北海道庁、胆振総合振興局、室蘭市役所、室蘭海上保安部）の代表者及びマスコミ関係者に立ち会っていただき、放射能の影響が無いことを確認していただいた。その立会いの様子を図 4.2.2-7 に示す。



図 4.2.2-7 クリアランス金属搬入時の立会いの様子
(平成 28 年 7 月 7 日)

ゲートモニター測定結果を表 4.2.2-5 に示し、保管前後のクリアランス金属保管場所測定結果を表 4.2.2-6、測定地点 1 及び測定地点 2 と保管場所との関係を図 4.2.2-8 に示す。

表 4.2.2-5 ゲートモニター通過時の線量当量率測定結果（日鋼）

容器 No.	検出器	最高値 (μ Sv/h)	バックグラウンド (μ Sv/h)	正味線量当量率 (μ Sv/h)
1,2,3,4	①	0.0106	0.0109	-0.0003
	②	0.0097	0.0097	0.0000
	③	0.0129	0.0126	0.0003
	④	0.0102	0.0103	-0.0001
5,6,7,8	①	0.0105	0.0108	-0.0003
	②	0.0095	0.0098	-0.0003
	③	0.0129	0.0129	0.0000
	④	0.0102	0.0103	-0.0001
9,10,11	①	0.0110	0.0110	0.0000
	②	0.0101	0.0100	0.0001
	③	0.0134	0.0127	0.0007
	④	0.0105	0.0103	0.0002
12,13,14	①	0.0107	0.0107	0.0000
	②	0.0097	0.0100	-0.0003
	③	0.0130	0.0131	-0.0001
	④	0.0102	0.0104	-0.0002

※1 太字は正味最高値、※2 警報設定値は 0.01μ Sv/h

表 4.2.2-6 保管場所の線量当量率測定結果

	測定高さ 1m	線量当量率 (μ Sv/h)	
		最小値	最大値
クリアランス 金属保管前	測定地点 1	0.01	0.04
	測定地点 2	0.01	0.04
クリアランス 金属保管後	測定地点 1	0.01	0.03
	測定地点 2	0.01	0.03

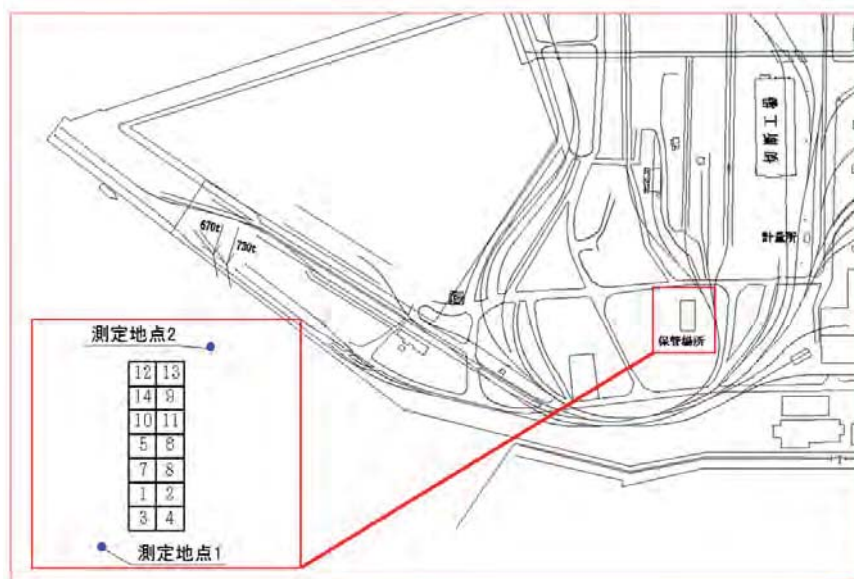


図 4.2.2-8 測定地点1及び測定地点2と保管場所との関係

ゲートモニター測定結果（正味）はいずれも $0.01 \mu\text{Sv/h}$ を超えるような値は検出されず、専用容器に異常がないことを確認した。また、保管場所も専用容器を置くことで線量当量率が上がることはなく、自然の揺らぎ（図 4.2.2-9 参照）の範囲であることを確認した。

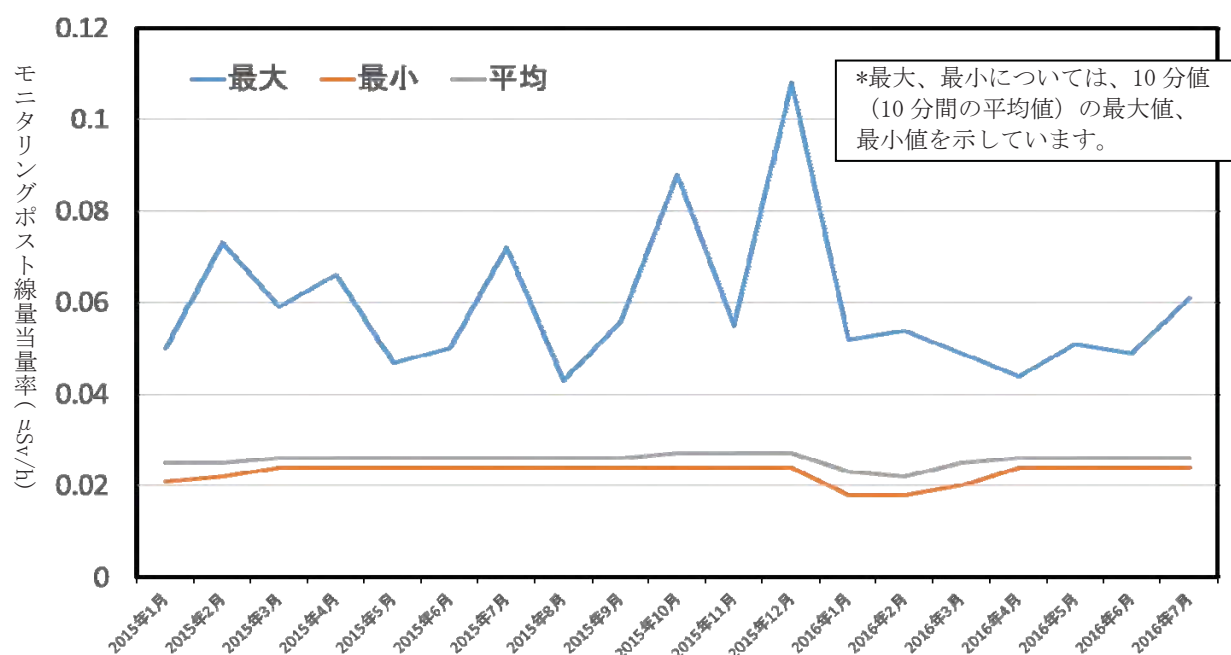


図 4.2.2-9 室蘭市の放射線モニタリングポスト線量当量率

次に、専用容器内のクリアランス金属表面の測定箇所を図 4.2.2-10 に示し、測定結果を表 4.2.2-7 に示す。



図 4.2.2-10 専用容器内のクリアランス金属表面の測定箇所

表 4.2.2-7 専用容器内のクリアランス金属表面の測定結果

No. ・	測定 箇所	線量当量率 (μ Sv/h)		No.	測定 箇所	線量当量率 (μ Sv/h)		No.	測定 箇所	線量当量率 (μ Sv/h)	
		最小値	最大値			最小値	最大値			最小値	最大値
1	①	0.01	0.02	6	①	0.01	0.03	11	①	0.01	0.04
	②	0.01	0.03		②	0.01	0.03		②	0.01	0.03
	③	0.01	0.02		③	0.01	0.03		③	0.01	0.03
	④	0.01	0.02		④	0.01	0.02		④	0.01	0.04
	⑤	0.01	0.03		⑤	0.01	0.03		⑤	0.01	0.02
2	①	0.01	0.02	7	①	0.01	0.03	12	①	0.01	0.02
	②	0.01	0.03		②	0.01	0.03		②	0.01	0.03
	③	0.01	0.05		③	0.01	0.03		③	0.01	0.03
	④	0.01	0.03		④	0.01	0.04		④	0.01	0.04
	⑤	0.01	0.02		⑤	0.01	0.03		⑤	0.01	0.02
3	①	0.01	0.02	8	①	0.01	0.03	13	①	0.01	0.02
	②	0.01	0.03		②	0.01	0.02		②	0.01	0.02
	③	0.01	0.03		③	0.01	0.02		③	0.01	0.03
	④	0.01	0.03		④	0.01	0.03		④	0.01	0.02
	⑤	0.01	0.03		⑤	0.01	0.02		⑤	0.01	0.03
4	①	0.01	0.03	9	①	0.01	0.02	14	①	0.01	0.02
	②	0.01	0.03		②	0.01	0.02		②	0.01	0.03
	③	0.01	0.03		③	0.01	0.02		③	0.01	0.02
	④	0.01	0.04		④	0.01	0.02		④	0.01	0.02
	⑤	0.01	0.02		⑤	0.01	0.02		⑤	0.01	0.02
5	①	0.01	0.03	10	①	0.01	0.04	①、②は箱 No.側			
	②	0.01	0.03		②	0.01	0.03				
	③	0.01	0.03		③	0.01	0.02				
	④	0.01	0.03		④	0.01	0.03				
	⑤	0.01	0.03		⑤	0.01	0.02				

専用容器内のクリアランス金属表面の線量当量率は $0.01 \sim 0.05 \mu$ Sv/h となり、図 4.2.2-9 に示す自然界放射線の揺らぎの範囲であることを確認した。

4.2.3 実証試験結果

(1) 目的

実際に発生したクリアランス金属を原料として内容器を模した鋳鋼品（SCW550 相当）を試作し、製造性および製品の性能を検証することを目的とする。

(2) 製造物および員数

製造物及び員数を表 4.2.3-1 に示す。肉厚 50mm の内容器及びそれに対応した蓋を模したモックアップ（本体 A 及び蓋 A）、肉厚 200mm の内容器及びそれに対応した蓋を模したモックアップ（本体 B 及び蓋 B）を製造した。さらに解体調査用の肉厚 200mm の内容器を模したモックアップ（本体 C）を製造した。

表 4.2.3-1 製造物一覧

符号	名称	員数	単重(kg)	肉厚等	備考
01	本体 A	1	3,471	50(mm)	組み立て試験に供する。
02	蓋 A	1	882	50(mm)	組み立て試験に供する。
03	本体 B	1	11,947	200(mm)	組み立て試験に供する。
04	蓋 B	1	2,336	200(mm)	組み立て試験に供する。
05	本体 C	1	12,323	200(mm)	解体試験に供する。

符号 01～04、本体および蓋 A、B には、本体付試験材を附与した。試験材寸法は、220×60×100(mm)を各 2 本ずつであり、220×60 面でもって本体に接続されている。

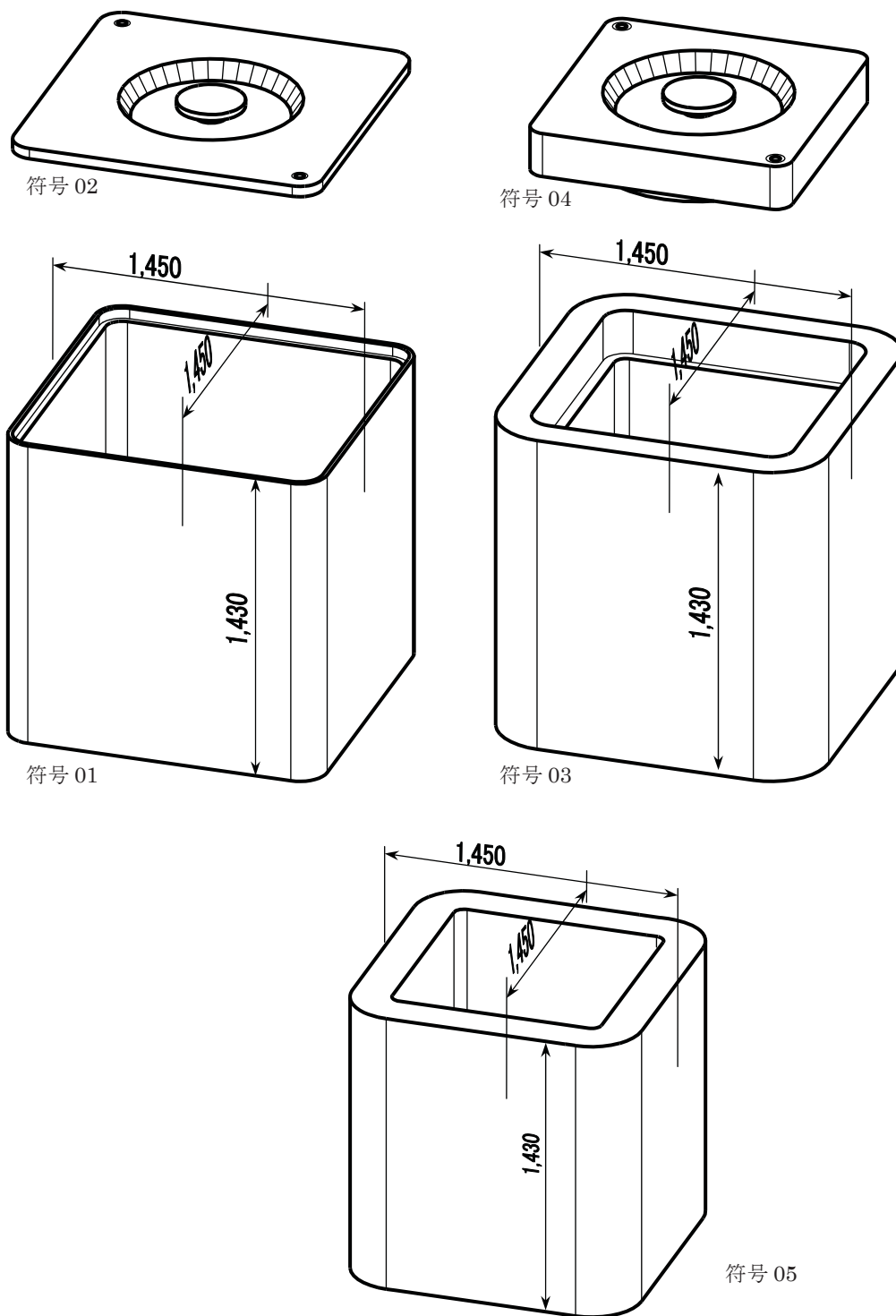


図 4.2.3-1 製造物（符号 01～符号 05）

上記の他、表 4.2.3-2 に示した溶接手順試験に供する試験板、溶鋼の放射線測定に供するサンプルを製造した。

表 4.2.3-2 製造物以外のアイテムリスト

名称	員数	単重(kg)	肉厚等	備考
溶接手順試験板	2	35.33	45×200×500(mm)	溶接手順試験に供する。
溶鋼サンプル	1	0.79	50×50×40(mm)	溶鋼の放射能測定に供する。

(3) 製造プロセス、試験・検査要領及び調査結果

1) 溶解・精錬

SS400 相当のクリアランス金属 60ton を原材料として使用した。

当該クリアランス金属から 70 検体を採取し化学成分分析を行った。結果を図 4.2.3-2 に示す。検体ごとの値が大きくばらついていることがわかる。

特に、S、As については、現在一般的に流通しているスクラップと比較して、一桁程度高い水準を示す検体のあることが確認された。

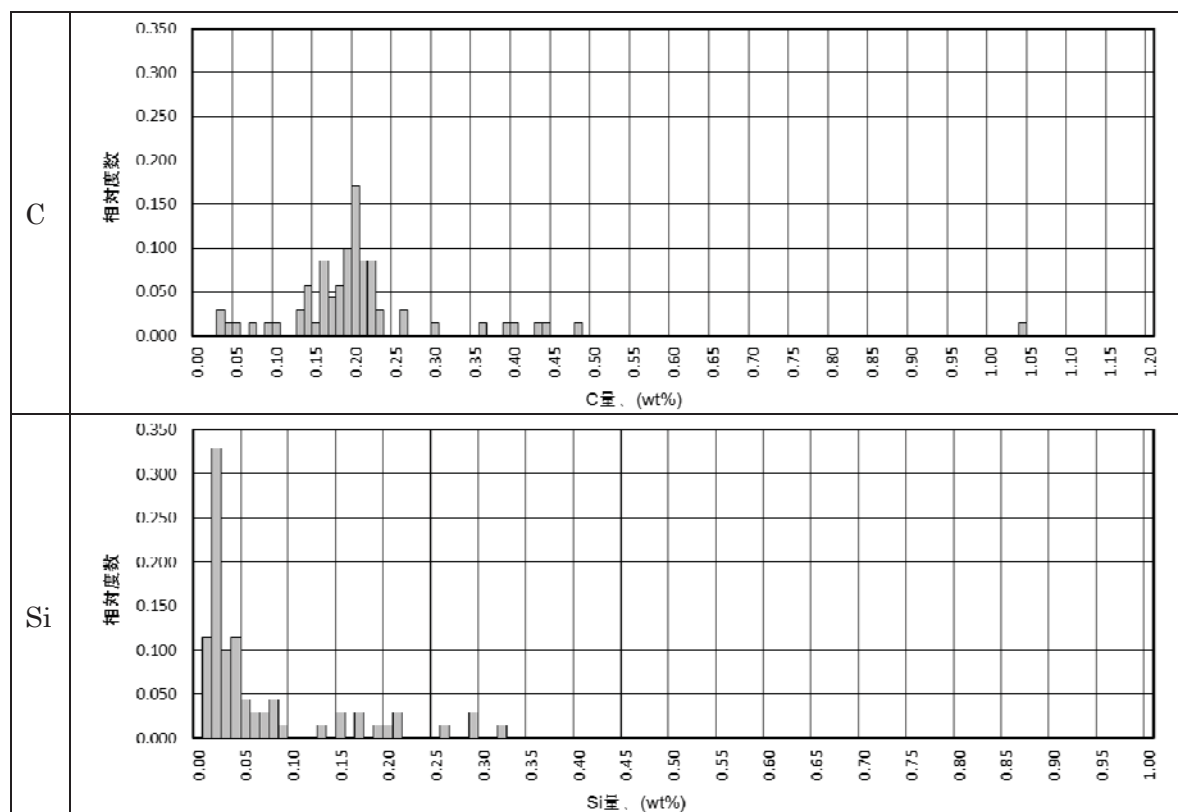


図 4.2.3-2 クリアランス金属の化学成分の分布（70 検体）

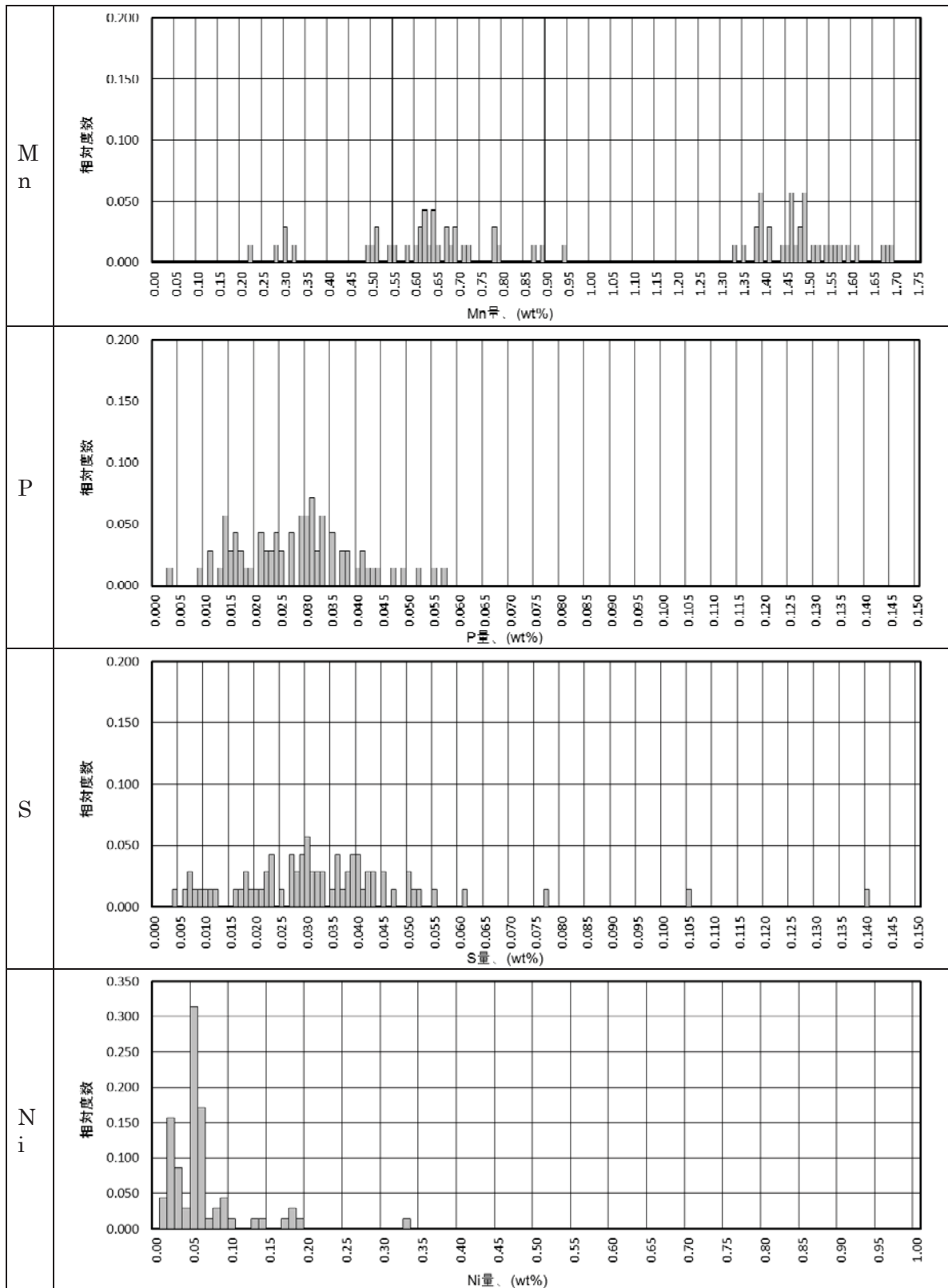


図 4.2.3-2 クリアランス金属の化学成分の分布 (70 検体) (つづき)

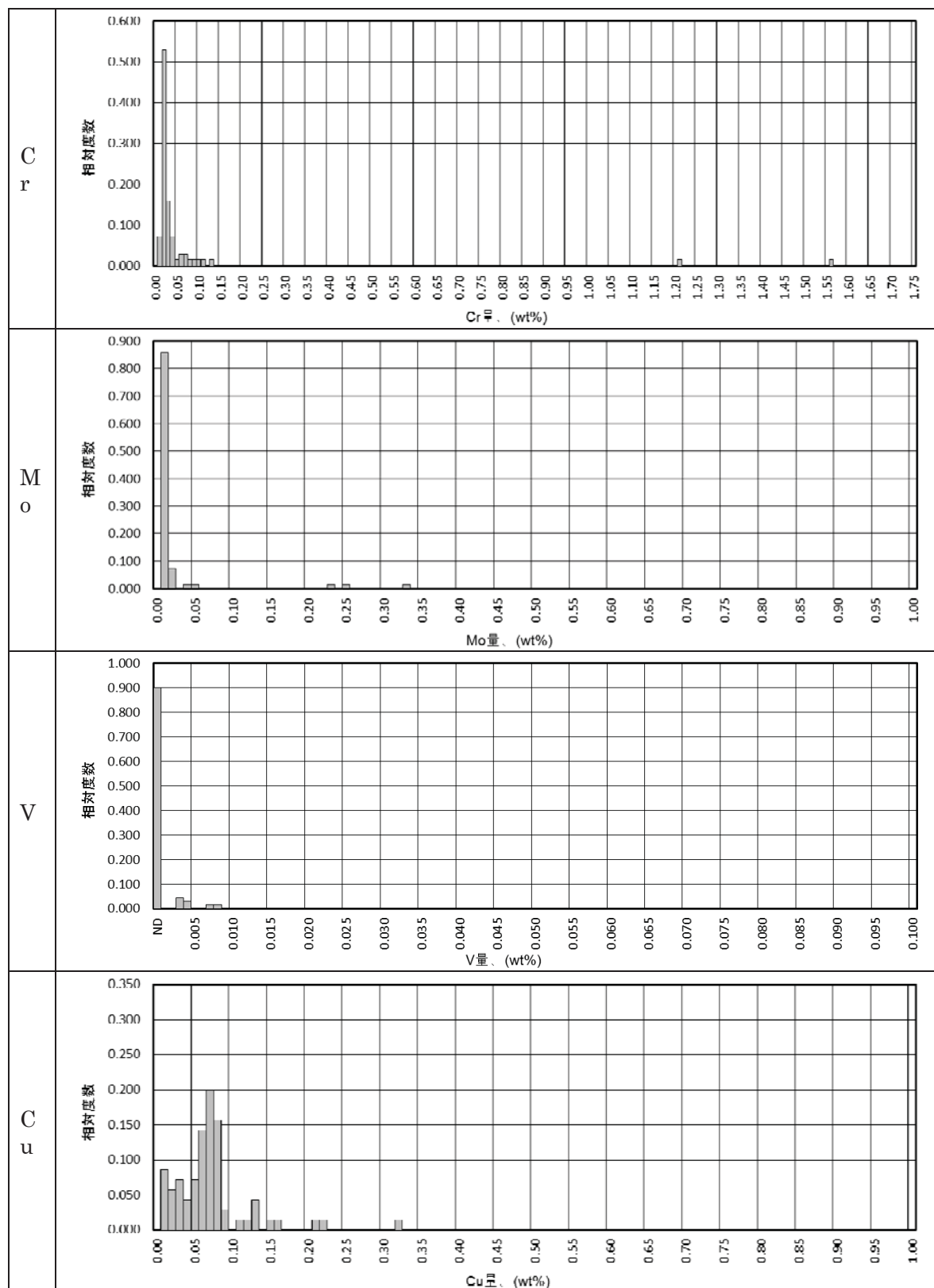


図 4.2.3-2 クリアランス金属の化学成分の分布 (70 検体) (つづき)

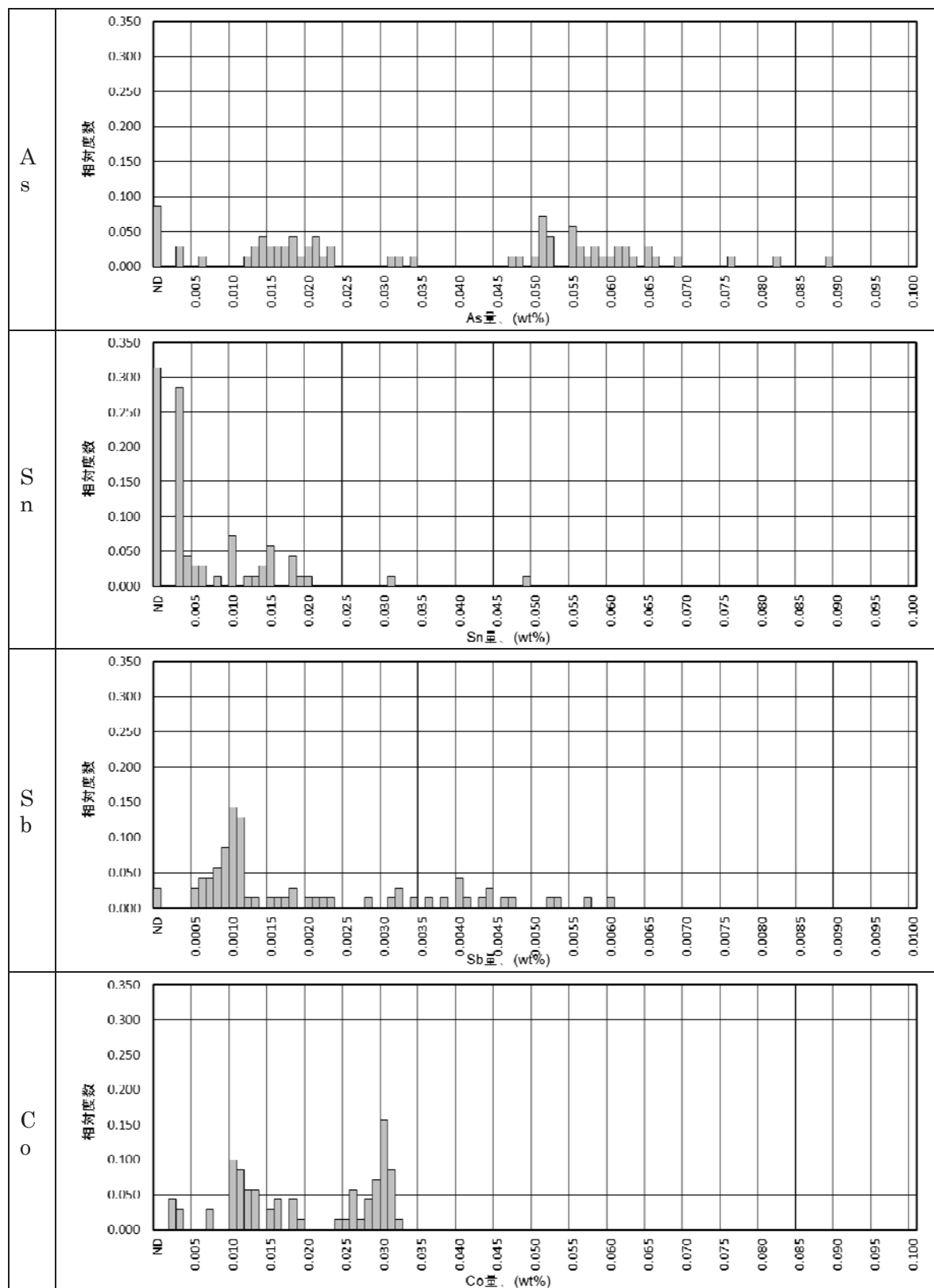


図 4.2.3-2 クリアランス金属の化学成分の分布 (70 検体) (つづき)

内容器モックアップの材質は、JIS G5102 SCW550 相当とし、クリアランス金属を 120 トン電気炉で溶解し、取鍋精錬炉に出鋼した。取鍋精錬炉で真空精錬し、SCW550 の指定化学成分を満足するために、合金鉍を添加して成分調整を行った。添加する合金鉍はクリアランス物ではなく、市中一般に流通しているものを用いた。

溶鋼の化学成分を表 4.2.3-3 および表 4.2.3-4 に示す。JIS G5102 SCW550 の規定値、および本作業に規定した範囲を満足している。ただし、As に関しては、通常スクラップを用いて製造する場合に比べ、一桁高い水準の値を示した。

これは、原材料として用いたクリアランス金属中に、As が高水準で含まれていたためと考えられる。

表 4.2.3-3 溶鋼の鋳込み成分 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	炭素当量(*)
SCW550 規定値	≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.040	≤0.040	≤2.50	≤0.50	≤0.30	≤0.20	≤0.48
本作業の 規定値	下限	0.10	0.35	0.80	—	—	1.90	0.25	0.12	—
	上限	0.14	0.45	1.00	0.015	0.008	2.10	0.35	0.18	0.03
実績値	0.11	0.38	0.82	0.006	0.003	1.96	0.29	0.14	<0.01	0.405

(*)炭素当量 = $C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

表 4.2.3-4 溶鋼の不純元素の実績値(wt%)

	Cu	Al	As	Sn	Sb	Ti	Pb
下限	—	—	—	—	—	—	—
上限	0.15	0.007	—	0.010	—	—	—
実績値	0.06	<0.005	0.040	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002

2) 造型・鋳込み

木型を製作し、木型を用いて鋳型(砂型)を造型した。その鋳型に成分調整された溶鋼を注湯した。完全凝固後、冷却後に解砕し、製品を取り出した。これらの工程状況を図 4.2.3-3 に示す。

3) 調質・熱処理

鋳造応力除去の目的で焼きなましを行った後、押湯を切断・除去した。その際、押湯から放射能測定サンプルを採取した。その後、調質（焼ならし、焼き戻し）を行った。調質条件は以下の通り。

- ・焼ならし：920℃±15℃×10hr 以上
- ・焼き戻し：620℃±15℃×10hr 以上

調質線図を図 4.2.3-4 に示す。条件の設定に当たっては、良好な低温靱性を獲得することを優先した。



図 4.2.3-3 鑄放し、湯道切断、砂落とし状況

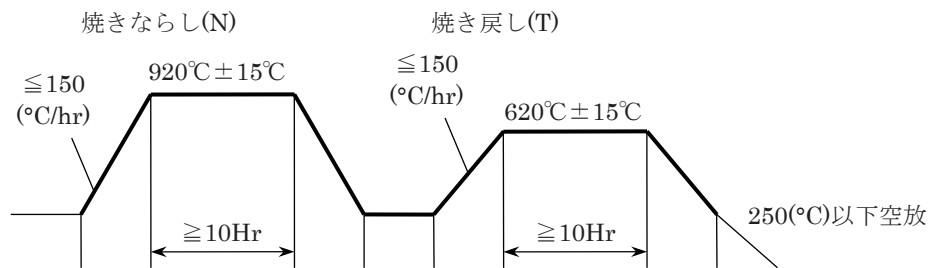


図 4.2.3-4 調質線図

4) 加工・整形

酸化スケールを除去した後、製品寸法を確認するために、肉取り野引きを実施した。その後、粗機械加工を実施した。必要に応じて、铸造余肉をガウジングで除去した。

5) 非破壊検査

非破壊検査を実施した。割れを欠陥とし、自主的な社内判定基準を超えるものを欠陥と判定した。検査方式は以下の通り。

- ・ 目視検査(VT)
- ・ 超音波探傷検査(UT)
- ・ 染色浸透探傷検査(PT)、または磁粉探傷検査(MT)

超音波探傷検査(UT)では欠陥は検出されず、染色浸透探傷検査(PT)によって検出された表面欠陥を除去し、補修溶接を実施した。

尚、铸鋼品における欠陥は、铸造方案不良によるものと、鋼種に起因するものとに大別できるが、本鋼種を選定したことに起因する欠陥は認められなかった。

6) 補修・溶接後熱処理

欠陥除去跡を表 4.2.3-5 による溶接条件によって補修した。溶接後熱処理として応力除去焼きなまし(SR)を与えた。

応力除去焼きなまし(SR)条件を図 4.2.3-5 に示す。

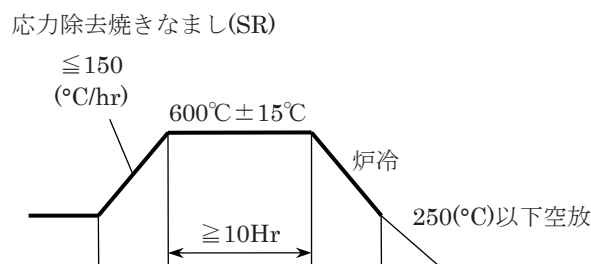


図 4.2.3-5 応力除去焼きなまし(SR)線図

表 4.2.3-5 補修溶接条件

溶接部位			欠陥除去部の補修溶接、寸法不足部の肉盛溶接						
材質			炭素鋼・鋳鋼品（JIS G5102 SCW550 相当材）						
溶接法および姿勢			被覆アーク溶接法（下向、立向、上向）						
溶接材料および溶接条件	手動	半自動	姿勢	棒径 (mm)	極性	溶接電流 (Amp.)	溶接電圧	棒乾燥温度 (℃)	棒乾燥時間 (Hr)
	LB-76 (神鋼製)	-	下向	3.2	AC	90~130	—	300~350	≧1.0
				4.0	AC	140~190	—		
				5.0	AC	190~250	—		
			立向 上向	3.2	AC	80~120	—		
				4.0	AC	120~180	—		
予熱		溶接部周囲で 150℃以上			後熱処理		SR：620±25℃ x ≧10Hrs.		
層間温度		250℃以下			温度確認		テンビルスティック、表面温度計（≧100℃）		
手順	(1) 欠陥除去跡検査					(4) 応力除去焼きなまし(SR)			
	(2) 予熱					(5) 余盛部手入れ			
	(3) 補修溶接					(6) 溶接部検査			
	下向 					立向、上向 			
備考	1. 溶接士の資格：ASME SECTION IX または JIS 認定の有資格者とする。								

7) 材料試験

調質後の試材及び溶接後熱処理後の試材の材料試験を実施し、材料特性を確認した。試験の種類及び試験片形状を表 4.2.3-6 に示す。なお、基準が無いため、合否判定は行っていない。

表 4.2.3-6 試験の種類及び試験片形状

試験の種類	試験片形状	試験時期、試験数	
		調質後	溶接後熱処理後
引張試験	JIS Z2241 14A 号試験片、φ14×70GL	各 2	各 2
衝撃試験	JIS Z2242 V ノッチ試験片	各 18	各 18
ブリネル硬さ	25×25×25(mm)	各 1	各 1
顕微鏡組織	特に定めない	各 1	(実施しない)
製品化学分析	特に定めない	各 1	(実施しない)
放射能測定	50×50×40(mm)	各 1	(実施しない)

各試験結果を下記に示す。

a. 材料試験結果

調質後の試験結果を表 4.2.3-7 に、溶接後熱処理後の試験結果を表 4.2.3-8 に示す。

調質に際し、良好な低温靱性を獲得することを優先して条件を設定したため、引張強度は SCW550 の要求値を若干下回っている。製品ごとの差異は見られなかった。

表 4.2.3-7 材料試験結果（調質後、引張試験・ブリネル硬さ測定）

採取位置		0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	ブリネル硬さ H(B)
本体付	符号 01	416	548	27.6	69.0	170
		414	546	27.7	71.3	
	符号 02	406	544	28.0	69.0	170
		407	544	26.6	71.3	
	符号 03	418	548	26.3	69.0	170
		418	548	26.7	70.5	
	符号 04	412	544	26.0	69.7	169
		413	545	26.4	69.0	

表 4.2.3-8 材料試験結果（溶接後熱処理後、引張試験・ブリネル硬さ測定）

採取位置		0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	ブリネル硬さ H(B)
本体付	符号 01	413	546	26.6	68.2	172
		412	546	26.4	68.6	
	符号 02	420	549	26.1	69.7	174
		420	549	26.6	70.9	
	符号 03	420	550	28.1	69.7	170
		421	550	28.1	67.8	
	符号 04	413	545	27.1	69.0	170
		411	544	26.3	69.0	

衝撃試験を互いに異なる 6 温度で行った。試験数は 1 温度につき 3 本ずつで、計 18 本である。衝撃試験結果を、表 4.2.3-9～表 4.2.3-16 に示す。

製品ごとの差異は見られなかった。

0(°C)における衝撃値の平均は、調質後試験において 144.5(J)、溶接後熱処理後試験において 132.8(J)であり、これは JIS G5102 による SCW550 に対する仕様下限値、27(J)に対し、大幅に優れた値となった。

尚、表中にいう FATT とは、Fracture Appearance Transition Temperature、延性破面遷移温度を意味する。

表 4.2.3-9 衝撃試験試験結果（調質後、符号 01）

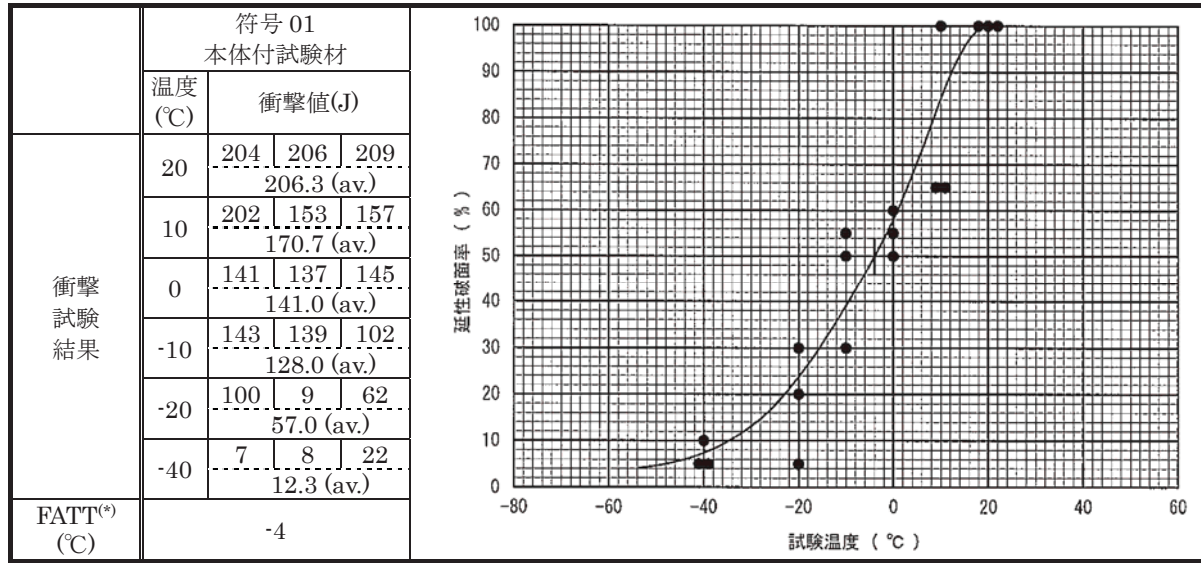


表 4.2.3-10 衝撃試験試験結果（調質後、符号 02）

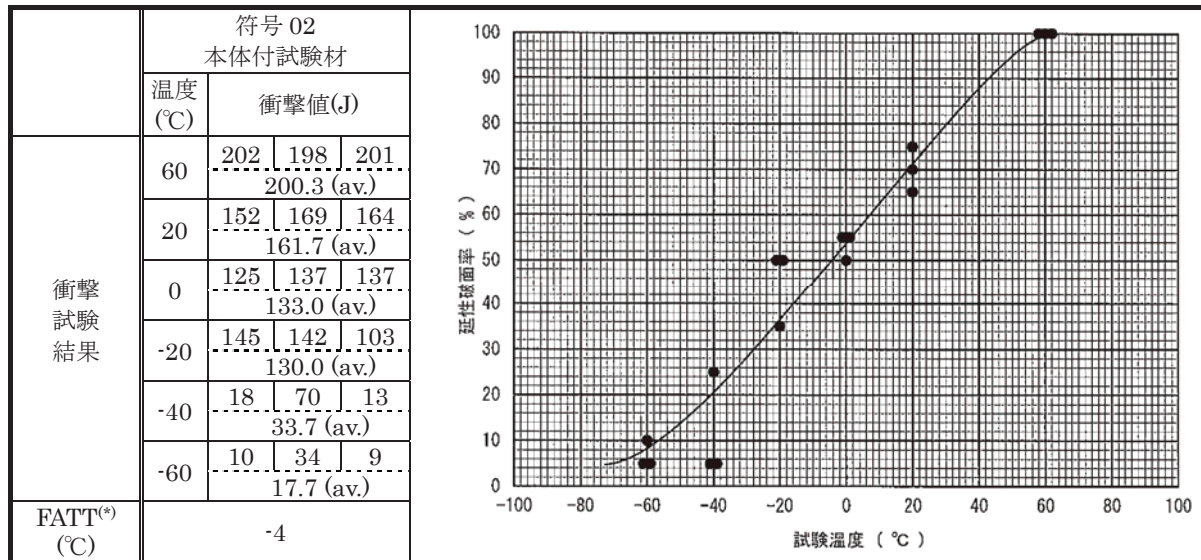


表 4.2.3-11 衝擊試験試験結果（調質後、符号 03）

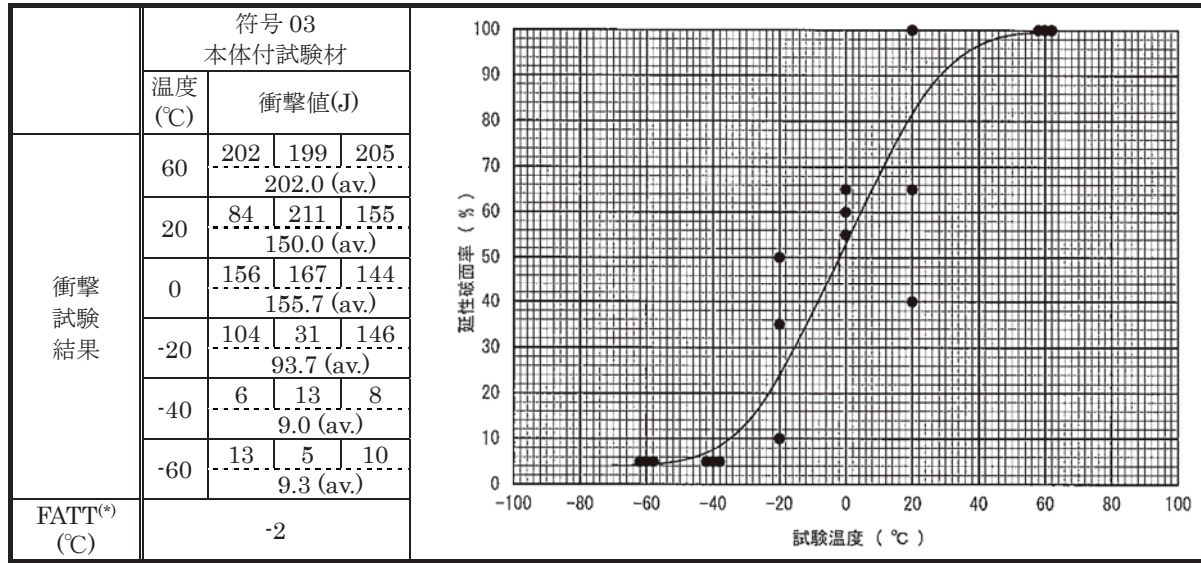


表 4.2.3-12 衝撃試験試験結果（調質後、符号 04）

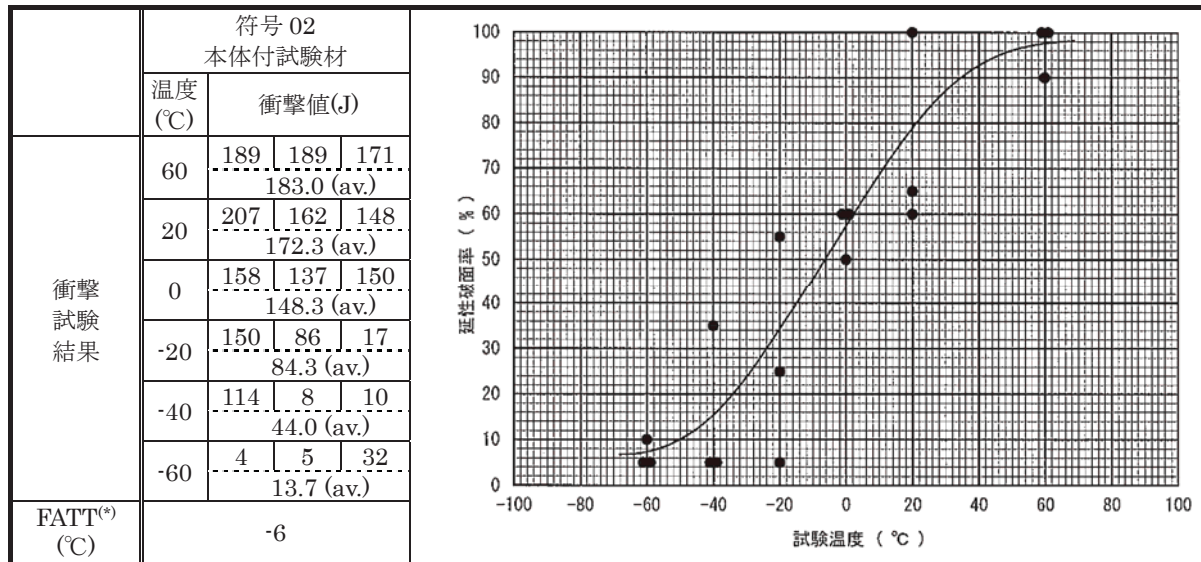


表 4.2.3-13 衝擊試驗試驗結果（溶接後熱處理後、符号 01）

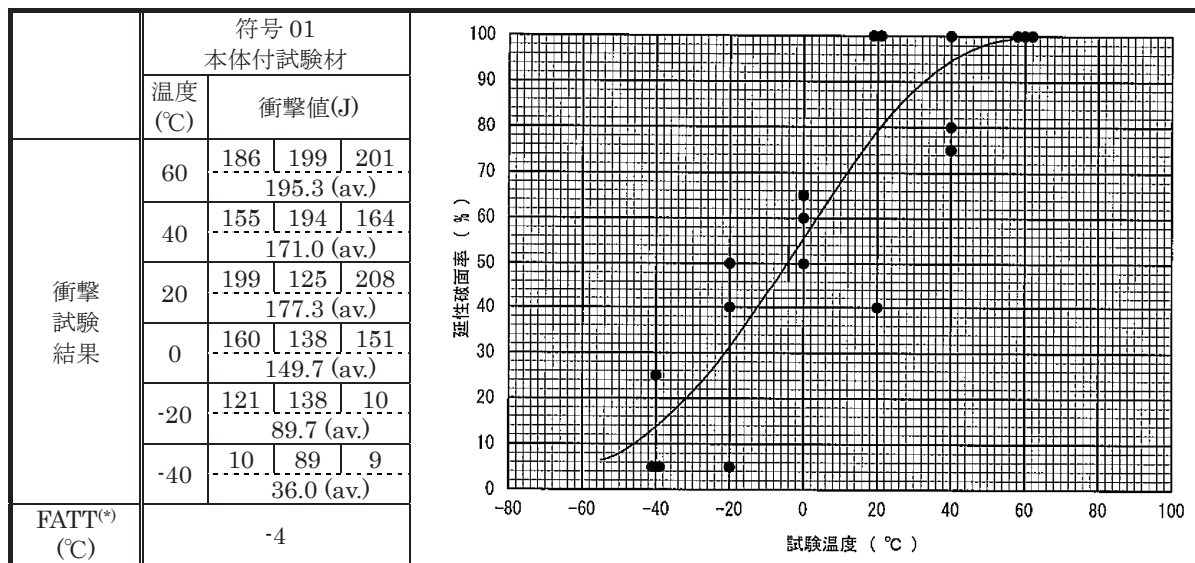


表 4.2.3-14 衝擊試驗試驗結果（溶接後熱處理後、符号 02）

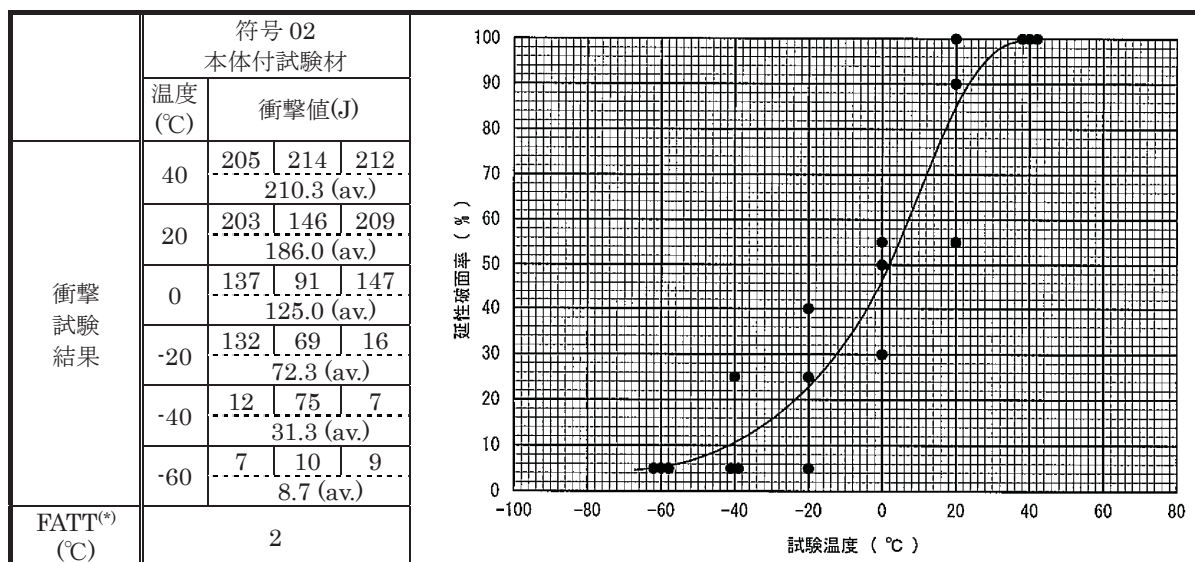


表 4.2.3-15 衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 03）

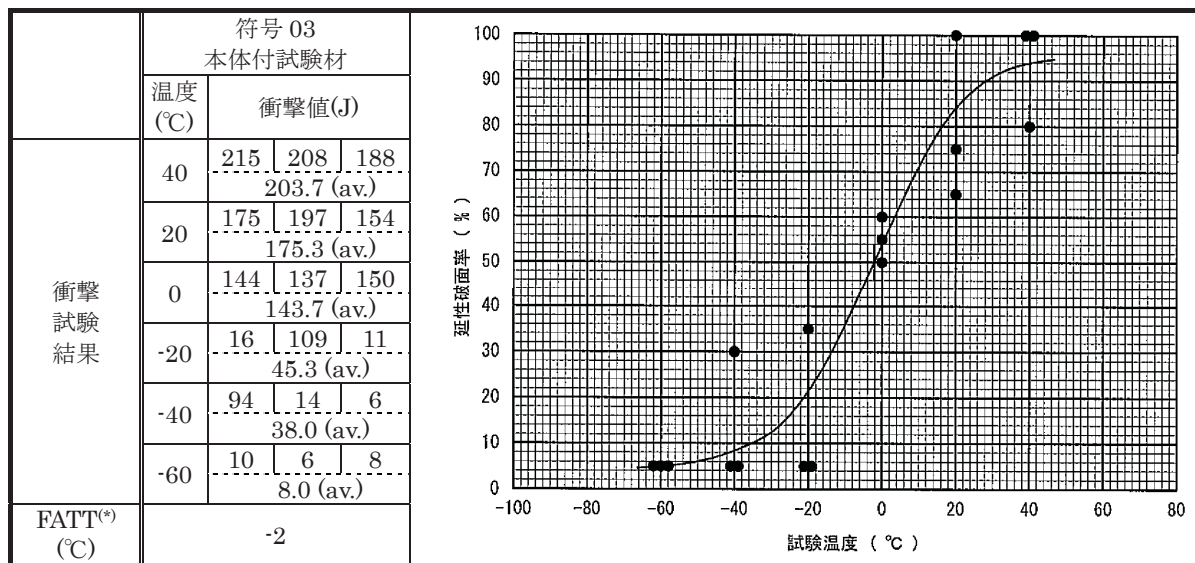
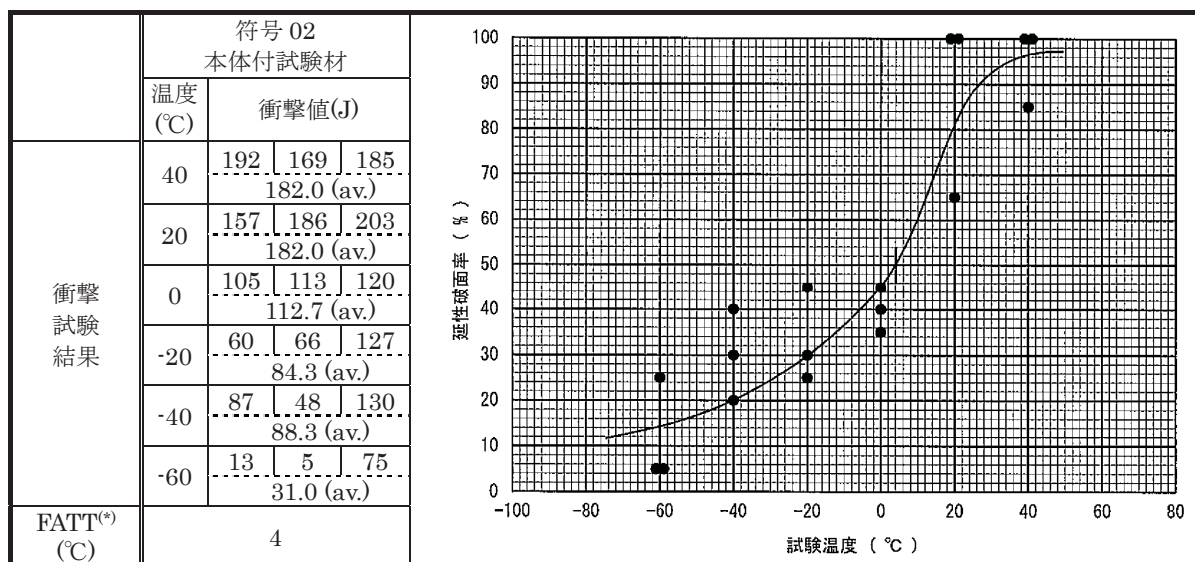


表 4.2.3-16 衝撃試験試験結果（溶接後熱処理後、符号 04）



b. 顕微鏡組織観察

符号 01～04 の調質後及び溶接後熱処理(SR)後の本体付試験材から採取した試験片を用いて顕微鏡組織観察を行った。

観察倍率は×100、×400 の 2 種類である。観察写真を図 4.2.3-6 及び図 4.2.3-7 に示す。

いずれもそれぞれベイナイト組織を呈しており、製品ごとの差異は見られず、また、調質後及び溶接後熱処理(SR)後との顕著な組織差異も見られなかった。

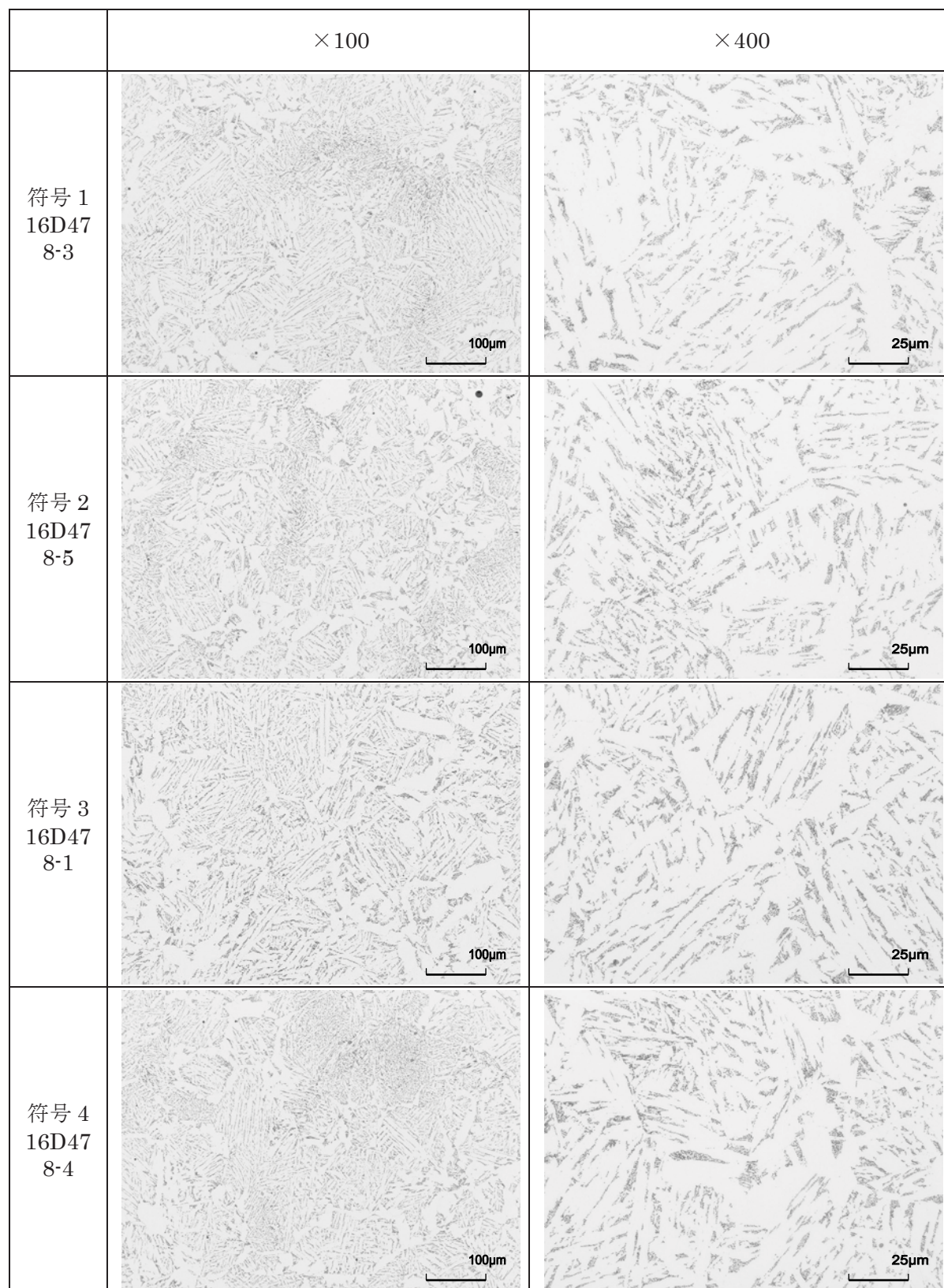


図 4.2.3-6 調質後の顕微鏡組織

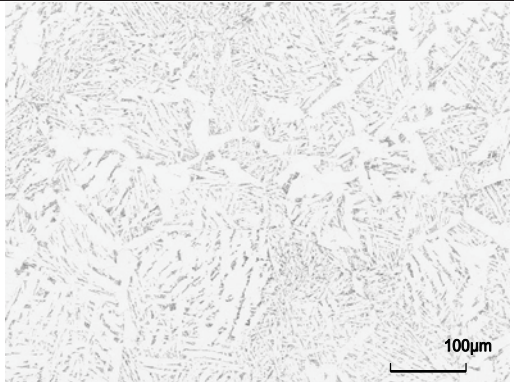
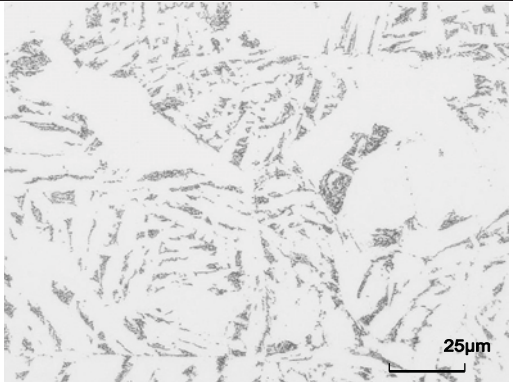
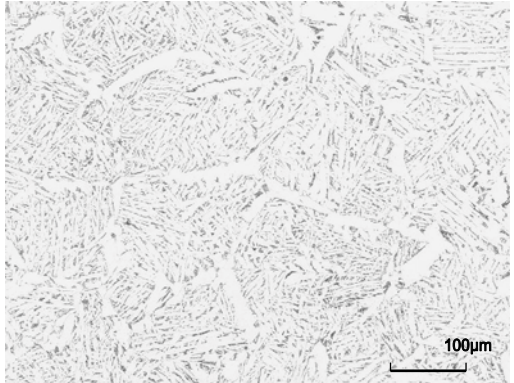
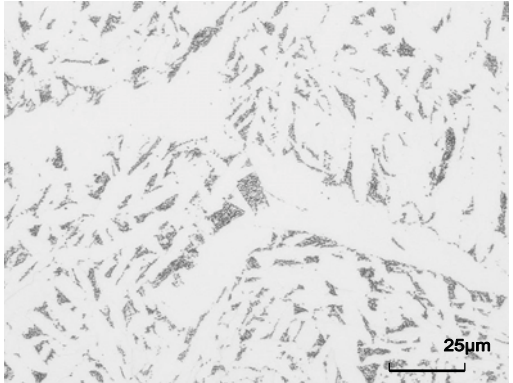
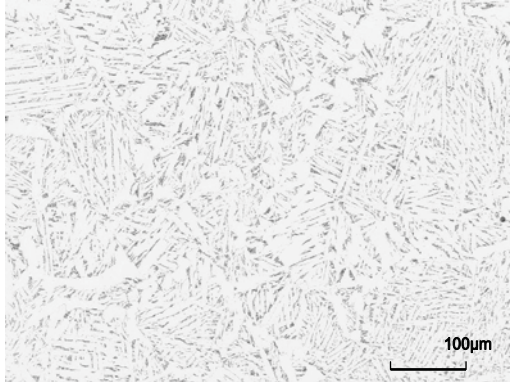
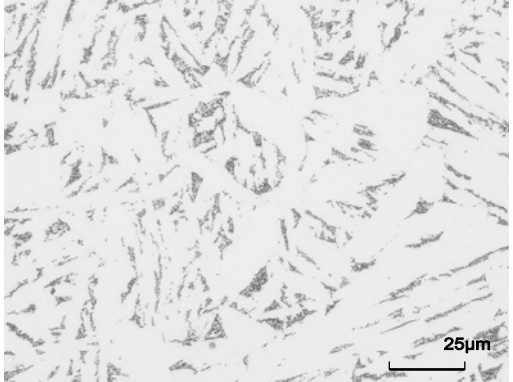
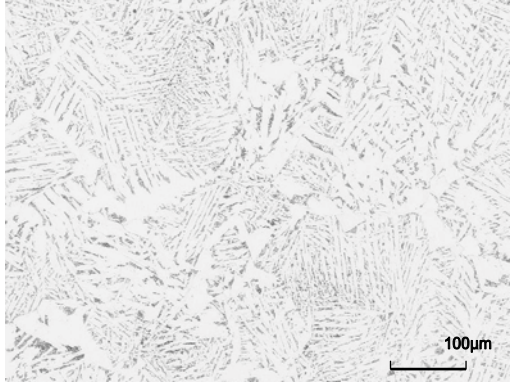
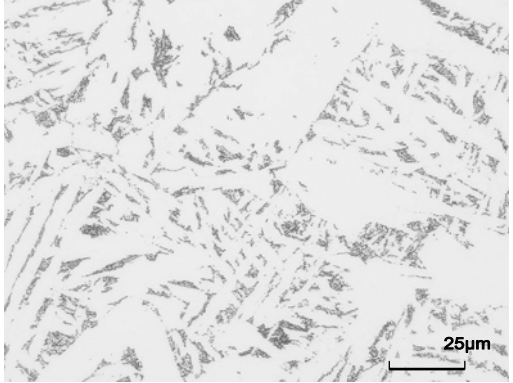
	×100	×400
符号 1 16D47 8-3		
符号 2 16D47 8-5		
符号 3 16D47 8-1		
符号 4 16D47 8-4		

図 4.2.3-7 溶接後熱処理(SR)後の顕微鏡組織

8) 仕上げ加工

用途上必要な部位（蓋・本体の組み合わせ面）に仕上加工を行った。その後、加工面の染色浸透探傷検査(PT)を実施した。

9) 溶接手順試験

ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section IX に準拠した溶接手順試験を実施した。溶接試験板の寸法と試験片板取を図 4.2.3-8 に示す。規定により、この試験片板厚によって厚さ 8 インチ[203mm]以下の突合せ溶接および補修溶接をサポートすることができる。

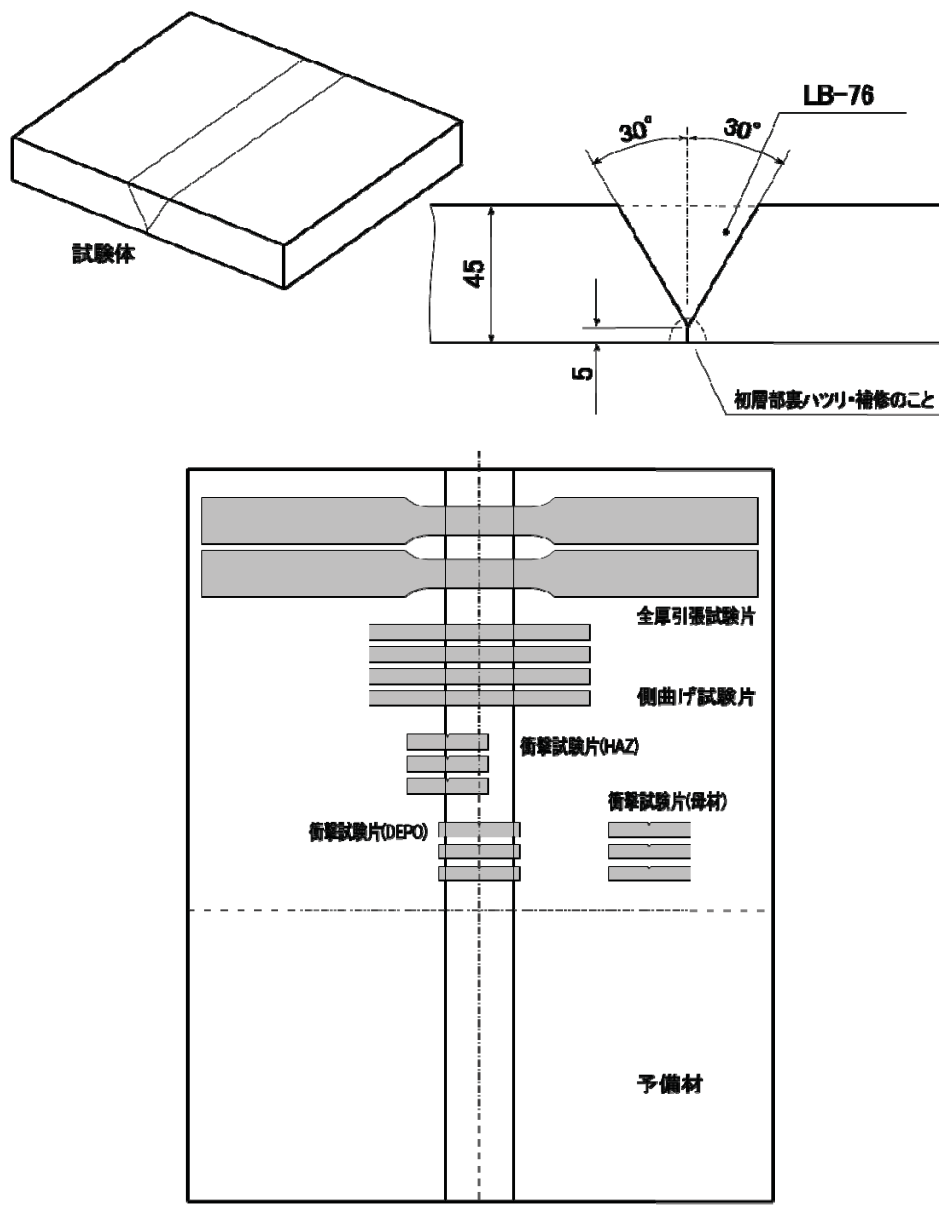


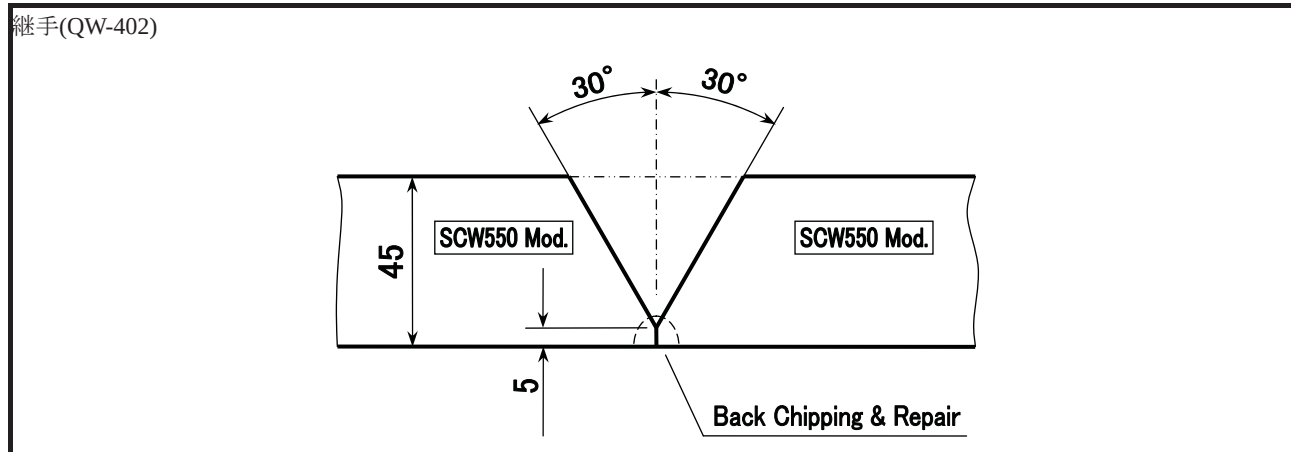
図 4.2.3-8 溶接試験板の寸法と試験片板取

溶接手順試験条件を表 4.2.3-17 に示し、溶接手順試験結果を表 4.2.3-18 に示す。

表 4.2.3-17 溶接手順試験の施工パラメータ

項目	細目	値	項目	細目	値
継手(QW-402)		突合せ、裏当金なし	後熱処理 (QW-407)	温度	595～635(°C)
母材(QW-403)	材料仕様	SCW550 Mod.	電気特性 (QW-409)	保持時間	10(Hr) min.
	試験材厚	45(mm)		極性	AC
	P#	Special		電流	φ4.0 : 140～190(A) φ5.0 : 290～250(A)
	引張強度	550(N/mm ²) min.		電圧	24～27(V)
添加材 (QW-404)	SFA	A5.5	溶接方法 (QW-410)	運棒速度	150～200(mm/min)
	AWS	E7016-G		ビード	ストリング ウィービング
	A#, F#	F#1, A#1		層数	多層
	銘柄	LB-76		棒銘柄	単一
	棒径	φ4.0, φ5.0			
	溶金厚さ	45(mm)			
予熱(QW-406)	予熱温度	150(°C) min.			
	層間温度	250(°C) Max.			

表 4.2.3-18 溶接手順試験結果



Tensile test (QW-150)

PQR No. E-26119

Specimen No.	Size of Test Specimen (mm)	Area (mm ²)	Ultimate Total Load (kN)	Ultimate Unit Stress (N/mm ²)	Character of Failure & Location
T1	44.4 × 19.2	852.5	447.9	525	Base Metal
T2	44.4 × 19.2	856.3	450.0	526	Base Metal

Guided Bend tests (QW-160)

Type and Figure No.	Result
Side Bend (S1)	Acceptable
Side Bend (S2)	Acceptable
Side Bend (S3)	Acceptable
Side Bend (S4)	Acceptable

Toughness tests (QW-170)

Specimen No.	Notch Location	Notch Type	Test Temp.	Impact Values(J)	Lateral Exp.		Drop weight	
					%Shear	Hils	Break	No Break
VW1	Deposit Metal	2mmV	20(°C)	217	85			
VW2				267	100			
VW3				206	80			
(Average)				230	-			
VH1	Heat Affected Zone	2mmV	20(°C)	190	80			
VH2				309	100			
VH3				232	100			
(Average)				244	-			

10) 放射能濃度測定

溶鋼（表 4.2.3-2 参照）、押湯（3）項参照）及び本体付試験材（表 4.2.3-6 参照）サンプルの放射能濃度（Bq/g）測定を実施した。サンプルの放射能測定は株式会社コベルコ科研に依頼した。放射能測定条件は以下の通り。

放射能測定元素	Cs134, Cs137, Co60, Mn54
測定条件	Ge 半導体検出器、GC5019-7915-30ULB-2002CSL (キャンベラ社製)
測定時間	1 万秒
対象核種	γ 線核種のみ。 β 線、 α 線核種は含まず。

溶鋼、押湯及び本体付試験材の放射能測定結果を表 4.2.3-19 に示す。放射性核種はいずれも検出されなかった。測定要領及び結果詳細は巻末に添付する。

表 4.2.3-19 放射能測定結果 (単位 : Bq/g)

	試料名	¹³⁴ Cs (セシウム 134)	¹³⁷ Cs (セシウム 137)	⁶⁰ Co (コバルト 60)	⁵⁴ Mn (マンガン 54)	その他 検出核種
溶鋼鑄込み流	D478 M	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D.
押湯部分	D478-1 X	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D.
符号 01	D478-3	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.004)	N.D.
符号 02	D478-5	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D.
符号 03	D478-1	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.004)	N.D.
符号 04	D478-4	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.004)	N.D.

N.D. : 検出下限以下を示し、() 内の数値は検出限界濃度を示す。

11) 成分分析

溶解・精錬が完了した溶鋼の鑄込み流、本体付試験材および製品の押し湯部分からサンプルを採取し、成分分析を行った。

JIS G5102 SCW550 に求められている元素に加え、下記化学成分について測定を行った。

合金元素(規格) C、Si、Mn、P、S、Ni、Cr、Mo、V、炭素当量

不純元素(参考用) Cu、Al、As、Sn、Sb、Ti、Pb

その他(参考用) (残留・混入が想定される放射性元素)

溶鋼分析結果(再掲) および製品分析結果を表 4.2.3-20 及び表 4.2.3-21 に示す。

各製品本体に附与されていた試験材では、試験材ごとに極端な値の差異は見られなかった。

尚、前述の放射能測定と併せて残留・混入が想定される放射性元素の評価を行った結果を表 4.2.3-22 に示す。本体付試験材の放射性元素は一切検出されなかった。

表 4.2.3-20 製品化学分析結果 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	炭素当量(*)
溶鋼鑄込み流	0.11	0.38	0.82	0.006	0.003	1.96	0.29	0.14	<0.01	0.405
押湯部分	0.18	0.40	0.84	0.005	0.005	1.98	0.29	0.14	0.003	0.479
本体付 試験材	符号 01	0.11	0.40	0.85	0.006	0.0029	1.96	0.30	0.14	0.413
	符号 02	0.11	0.40	0.84	0.006	0.0031	1.93	0.29	0.14	0.408
	符号 03	0.11	0.40	0.84	0.006	0.0027	1.95	0.30	0.14	0.411
	符号 04	0.11	0.38	0.82	0.005	0.0029	1.92	0.29	0.14	0.404

(*)炭素当量 = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14

表 4.2.3-21 製品化学分析結果（不純元素 (wt%)）

		Cu	Al	As	Sn	Sb	Ti	Pb
溶鋼鑄込み流		0.06	<0.005	0.040	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
押湯部分		0.06	<0.005	0.037	0.003	0.0015	<0.005	<0.0002
本体付 試験材	符号 01	0.06	<0.005	0.040	0.004	0.0010	<0.005	<0.0002
	符号 02	0.06	<0.005	0.038	0.004	0.0011	<0.005	<0.0002
	符号 03	0.06	<0.005	0.040	0.004	0.0010	<0.005	<0.0002
	符号 04	0.06	<0.005	0.035	0.003	0.0010	<0.005	<0.0002

表 4.2.3-22 製品化学分析結果（不純元素 (wt%)）

		¹³⁴ Cs (セシウム 134)	¹³⁷ Cs (セシウム 137)	⁶⁰ Co (コバルト 60)	⁵⁴ Mn (マンガン 54)	その他 検出核種
溶鋼鑄込み流		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
押湯部分		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
本体付 試験材	符号 01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	符号 02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	符号 03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	符号 04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

12) 解体調査

製品各部での材料特性の分布を把握するべく、肉厚 200mm の試験体（符号 05：本体 C）を用いて解体調査を行った。まず図 4.2.3-9 のごとく、ガス切断等により大割り切断し、U字の試材から図 4.2.3-10 のように各種試験片を採取した。

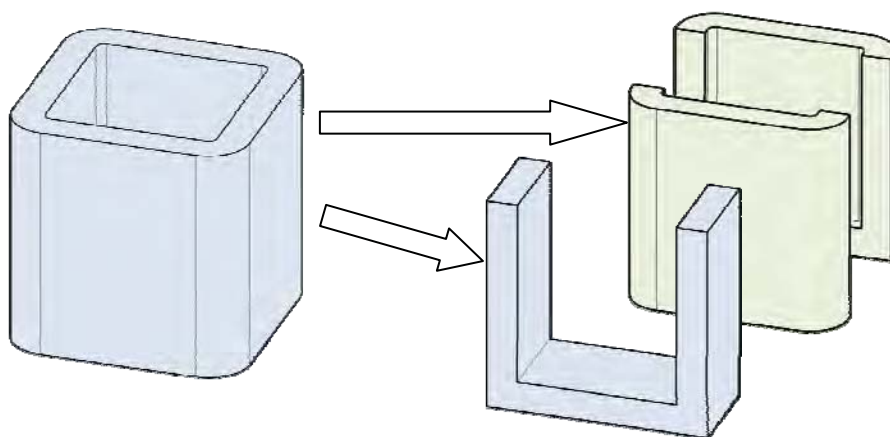


図 4.2.3-9 本体 C の大割り切断による U 字試材採取方法

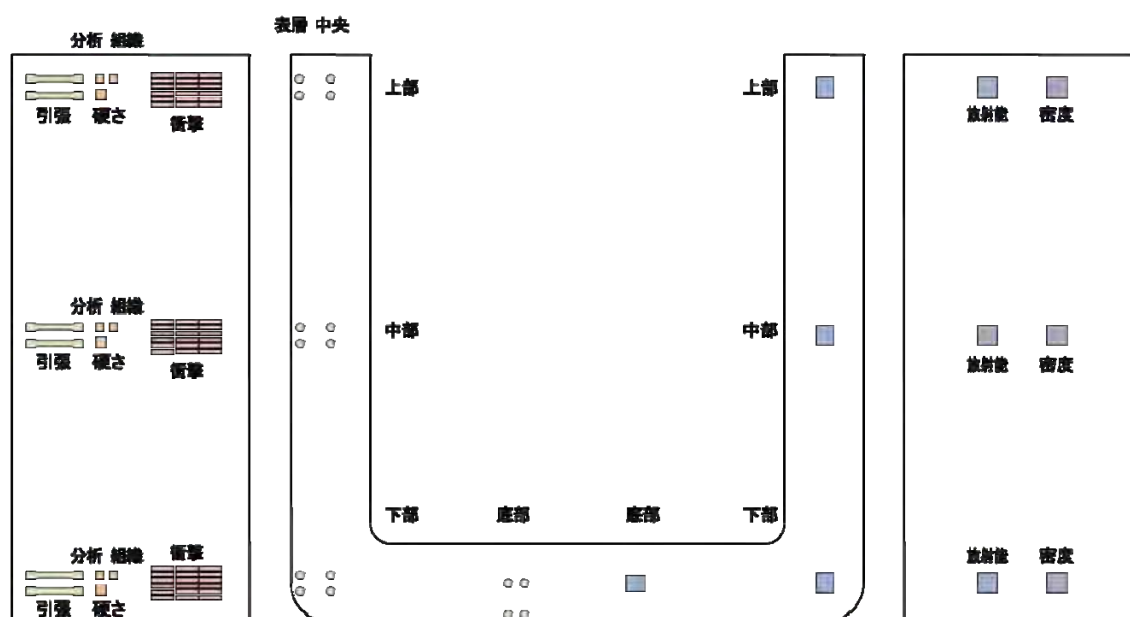


図 4.2.3-10 解体調査試験片採取要領

解体調査における調査項目は下記とした。

- ・化学成分の分布
- ・機械的特性（引張試験、衝撃試験、硬さ試験、組織観察）の分布
- ・放射線遮蔽能力の分布（密度測定）
- ・放射能の分布（放射能濃度測定）

化学成分の分布を、表 4.2.3-23、表 4.2.3-24 に示す。

表 4.2.3-23 各部の化学成分（wt%）

		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	炭素当量(*)
SCW550 規定値		≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.040	≤0.040	≤2.50	≤0.50	≤0.30	≤0.20	≤0.48
溶鋼分析値(再掲)		0.11	0.38	0.82	0.006	0.003	1.96	0.29	0.14	<0.01	0.405
表層	上部	0.11	0.40	0.83	0.006	0.0029	1.95	0.29	0.15	0.004	0.410
	中部	0.11	0.39	0.84	0.006	0.0029	1.94	0.30	0.14	0.003	0.410
	下部	0.11	0.39	0.83	0.006	0.0030	1.94	0.29	0.14	0.003	0.406
	底部	0.12	0.39	0.83	0.006	0.0031	1.94	0.29	0.14	0.003	0.416
中央	上部	0.10	0.38	0.81	0.005	0.0027	1.87	0.29	0.14	0.004	0.391
	中部	0.12	0.39	0.84	0.006	0.0030	1.93	0.30	0.15	0.004	0.422
	下部	0.11	0.40	0.84	0.006	0.0030	1.94	0.30	0.15	0.004	0.413
	底部	0.11	0.39	0.82	0.005	0.0031	1.91	0.29	0.14	0.003	0.404

(*)炭素当量 = $C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

表 4.2.3-24 各部の化学成分（不純元素）（wt%）

		Cu	Al	As	Sn	Sb	Ti	Pb
溶鋼分析値(再掲)		0.06	<0.005	0.040	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
表層	上部	0.06	<0.005	0.039	0.004	0.0013	<0.005	<0.0002
	中部	0.06	<0.005	0.038	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
	下部	0.06	<0.005	0.038	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
	底部	0.06	<0.005	0.039	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
中央	上部	0.06	<0.005	0.034	0.003	0.0010	<0.005	<0.0002
	中部	0.06	<0.005	0.038	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
	下部	0.06	<0.005	0.039	0.004	0.0012	<0.005	<0.0002
	底部	0.06	<0.005	0.033	0.003	0.0012	<0.005	<0.0002

引張試験およびブリネル硬さ試験結果を表 4.2.3-25 に示す。

表層と中央を比較すると、中央における強度は表層に比べ低い値を示した。

また、上部、中部、下部、底部の比較では、値の差は小さいことから、強度に及ぼす影響は、肉厚に対して表層・中央の違いのほうが大きいことがわかった。

表 4.2.3-25 各部の材料試験結果（引張試験・ブリネル硬さ測定）

採取位置		0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	ブリネル硬さ H(B)
表層	上部	347	503	28.6	69.0	150
		343	502	30.1	69.7	
	中部	321	480	31.9	68.2	147
		318	478	34.3	70.5	
	下部	329	487	29.1	70.5	148
		332	489	28.0	69.0	
	底部	330	490	31.4	69.7	149
		335	490	31.4	69.0	
中央	上部	318	485	30.4	69.0	146
		311	479	29.4	69.0	
	中部	314	479	26.4	51.0	146
		315	478	29.0	59.0	
	下部	320	484	31.1	62.3	148
		322	487	27.1	52.0	
	底部	320	485	30.0	59.6	148
		318	484	29.7	61.4	

衝撃試験結果および延性破面遷移温度を表 4.2.3-26～表 4.2.3-33 に示す。

0(℃)における衝撃値の平均は、表層において 116.3(J)、肉厚中央において 118.3(J)と大きな差異はなく、また JIS G5102 による SCW550 に対する仕様下限値、27(J)に対し、大幅に優れた値を示している。

表 4.2.3-26 衝擊試驗試驗結果（表層・上部）

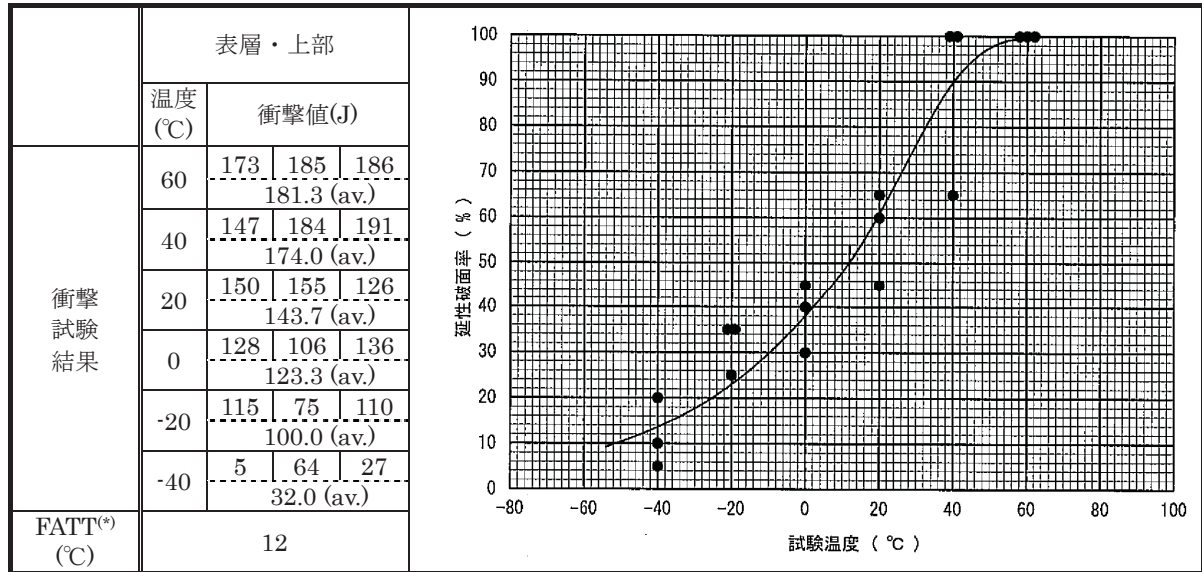


表 4.2.3-27 衝擊試驗試驗結果（表層・中部）

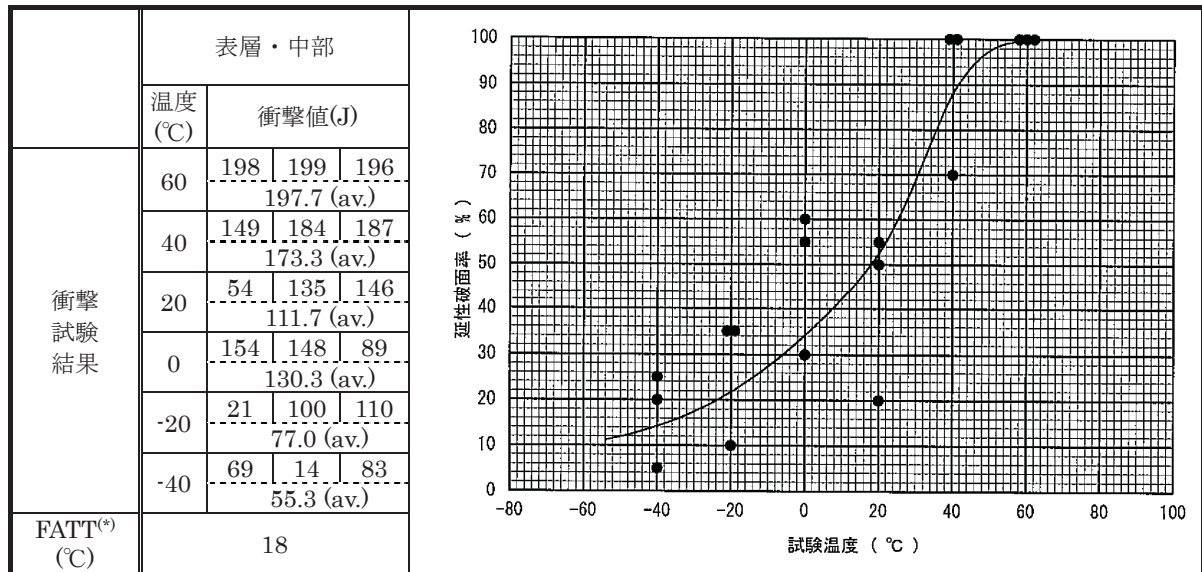


表 4.2.3-28 衝擊試驗試驗結果（表層・下部）

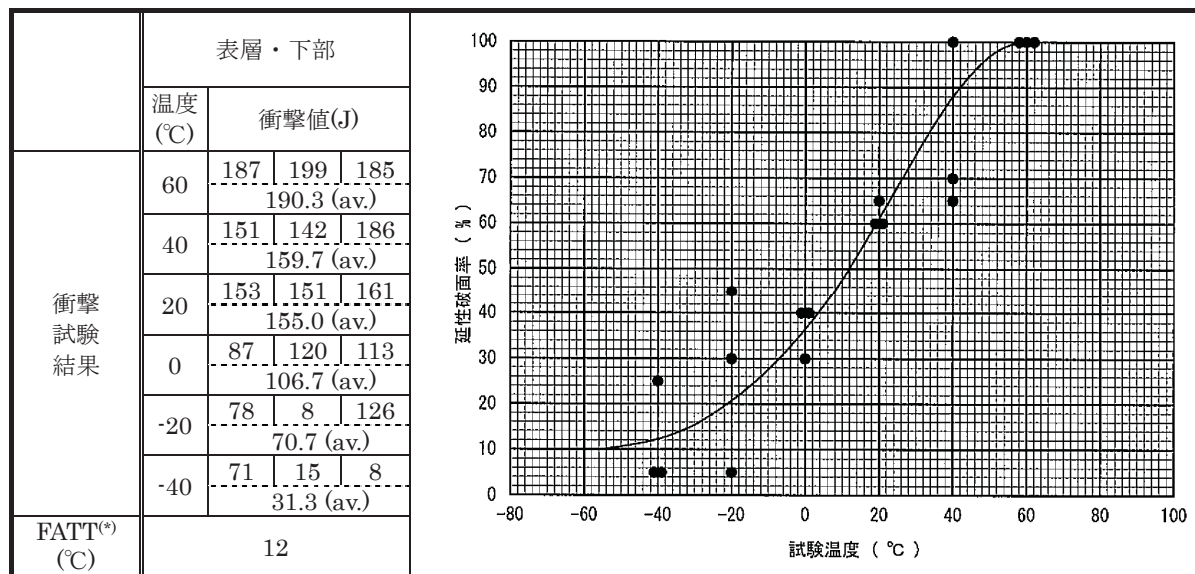


表 4.2.3-29 衝擊試驗試驗結果（表層・底部）

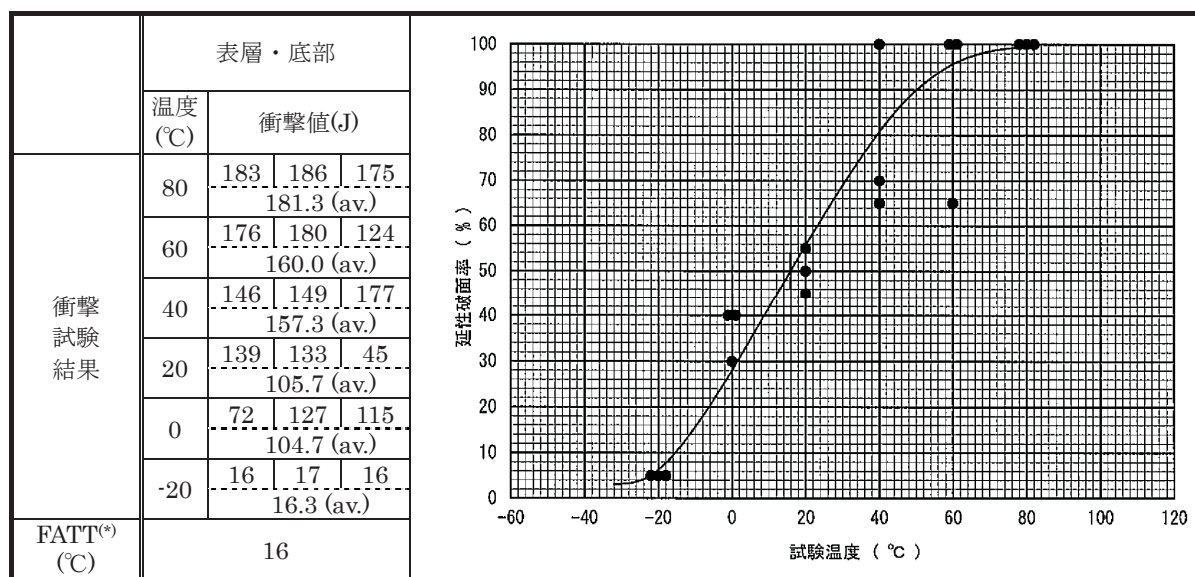


表 4.2.3-30 衝擊試驗試驗結果（中央・上部）

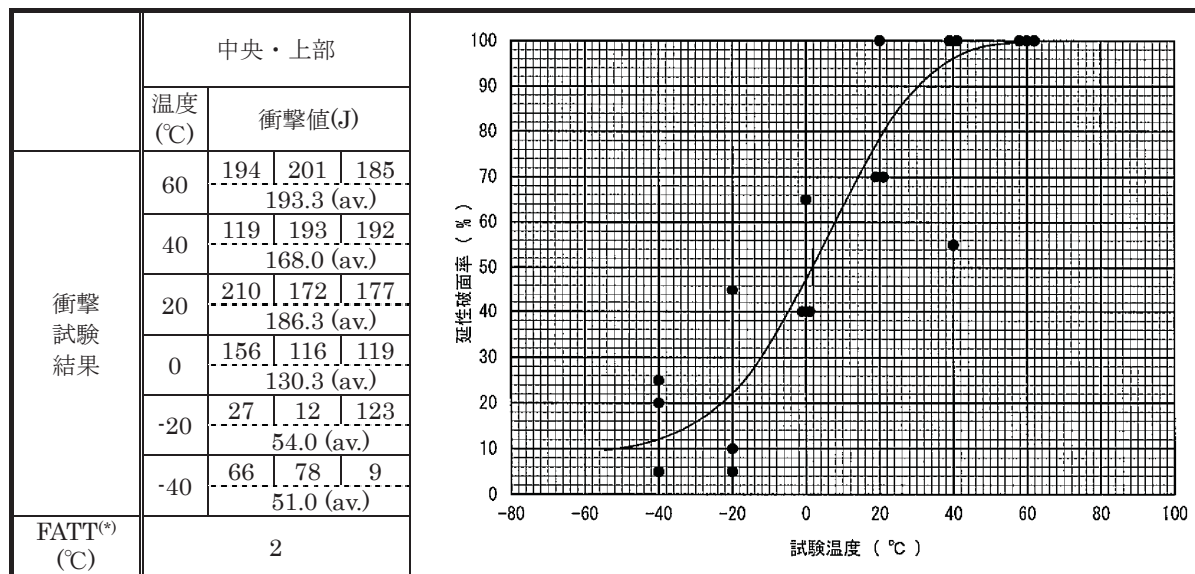


表 4.2.3-31 衝擊試験試験結果（中央・中部）

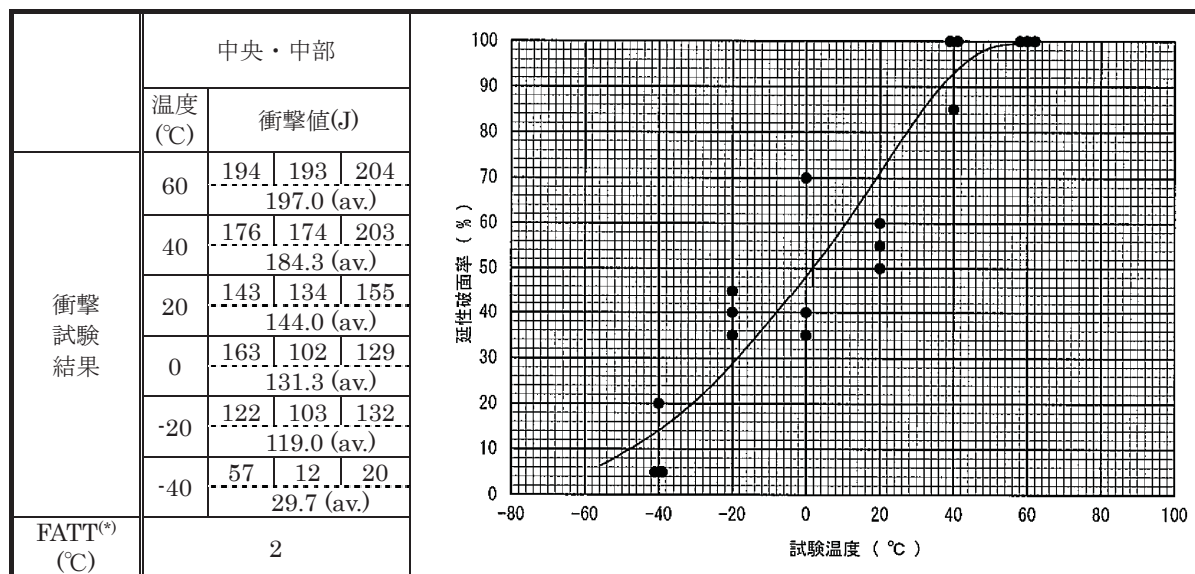


表 4.2.3-32 衝撃試験試験結果（中央・下部）

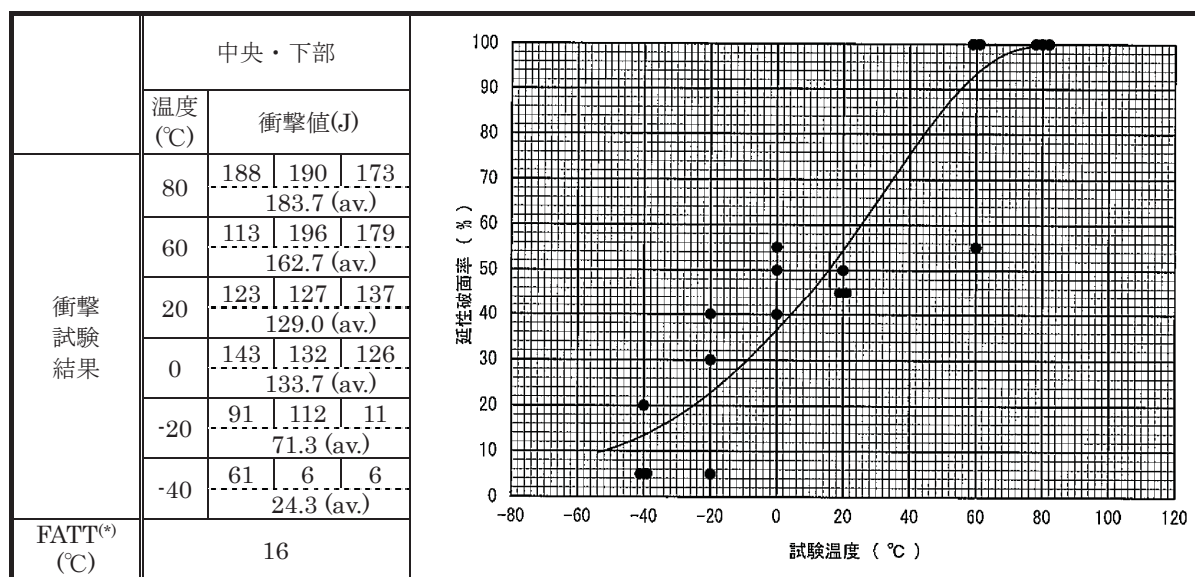
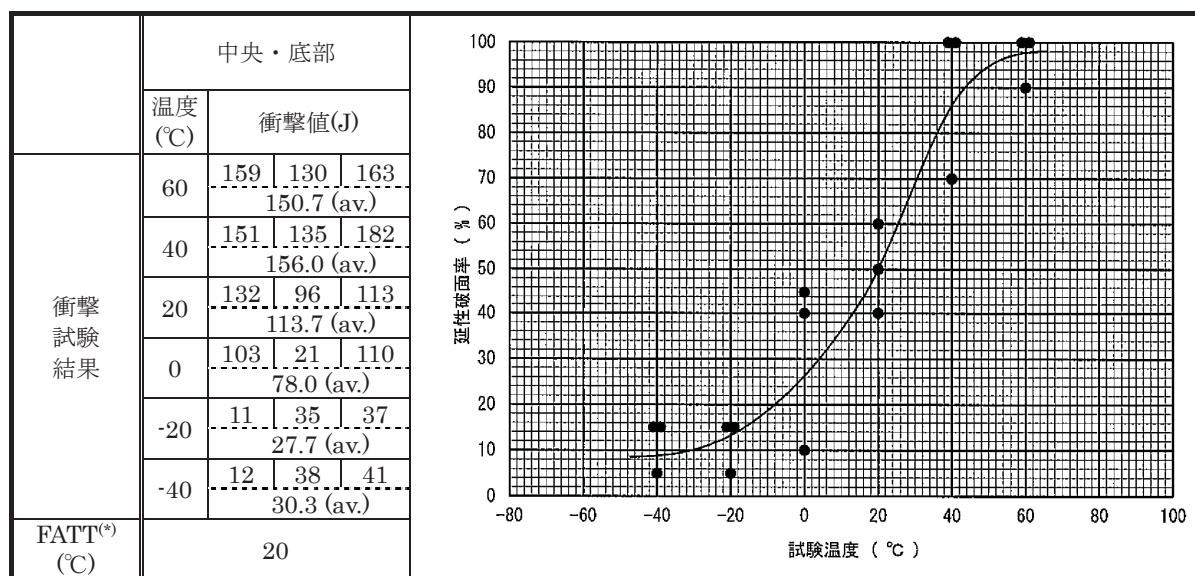


表 4.2.3-33 衝撃試験試験結果（中央・底部）



解体調査材の各位置から採取した試験片を用いて顕微鏡組織観察を行った。
 観察倍率は×100、×400の2種類である。観察写真を図 4.2.3-11 に示す。
 本体付試験材における組織に比べ、全体に粗大な結晶粒となっている。
 フェライト+ベイナイト組織を呈しており、採取位置による差異は見られなかった。

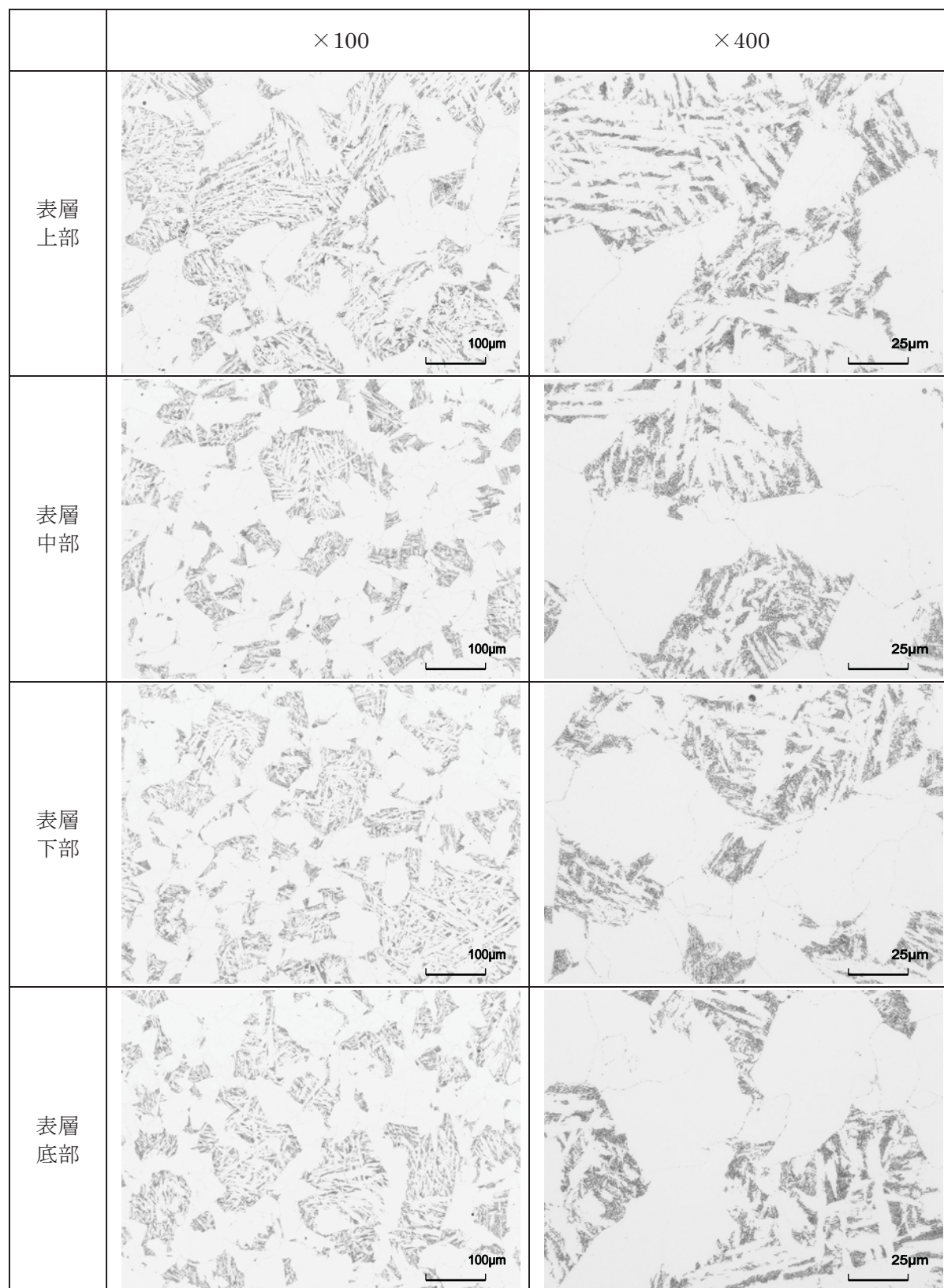


図 4.2.3-11 解体調査材各部サンプルの顕微鏡組織

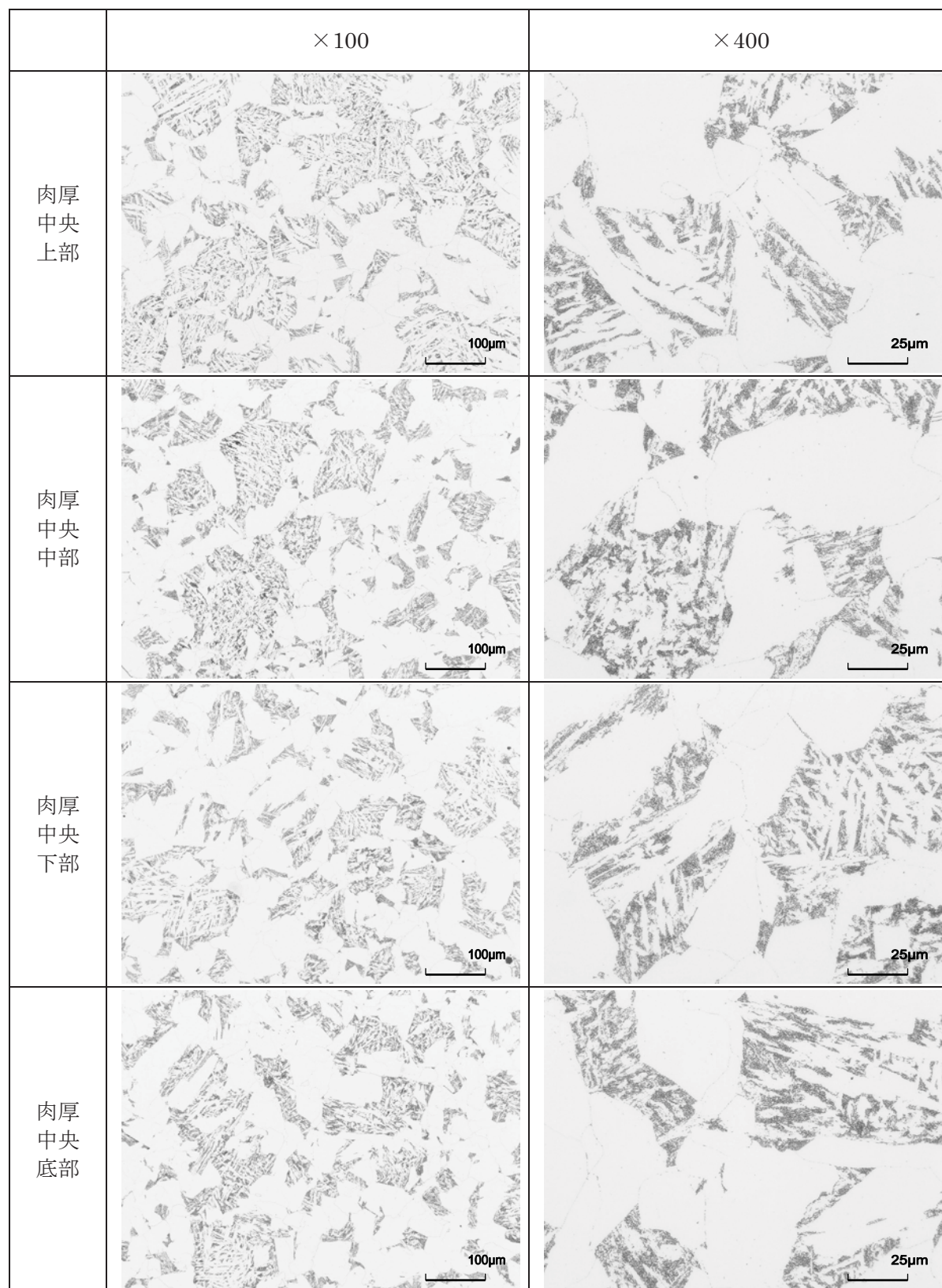


図 4.2.3-11 解体調査材各部サンプルの顕微鏡組織（つづき）

放射線遮蔽能力を評価するため、各部から採取した試験片を用いて密度測定を行った。
測定は、JIS Z 8807「固体比重測定方法」に準じた方法によった。

密度測定結果を、表 4.2.3-34 に示す。

測定場所に応じた値の差異が見られるが、その割合は 0.06(%)であり、ばらつきの範囲であると言える。

表 4.2.3-34 各部の密度測定結果（比重：g/cm³）

	上部中央	中部中央	下部中央	底部中央
密度(g/cm ³)	7.835	7.838	7.840	7.840

各部から採取した試験片を用いて放射能濃度測定を行った。

測定方法は、4.2.3 項 10) 放射能濃度測定に準じた方法である。

測定結果を、表 4.2.3-35 に示す。

表 4.2.3-35 放射能測定結果（単位：Bq/g）

	試料名	¹³⁴ Cs (セシウム 134)	¹³⁷ Cs (セシウム 137)	⁶⁰ Co (コバルト 60)	⁵⁴ Mn (マンガン 54)	その他 検出核種
上部	D478-2 P	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.005)	N.D. (<0.004)	N.D.
中央	D478-2 Q	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	²¹⁴ Bi : 0.007±0.002
下部	D478-2 R	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D.
底部	D478-2 S	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.003)	N.D. (<0.004)	N.D. (<0.004)	N.D.

評価対象 4 核種は検出されなかったが、中央部において、クリアランス規制対象（線量への影響が大きい）33 個の放射性核種ではない ²¹⁴Bi（ビスマス 214）が検出された。

²¹⁴Bi は自然界に存在する ²³⁸U（ウラン 238）が放射性壊変して生じる娘核種（ウラン系列の天然放射性核種）の一つであり、自然界に普通に存在する核種である。したがって、²¹⁴Bi はクリアランス金属使用にかかわらず、検出される可能性のある核種である。

「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（平成 17 年 6 月 1 日文部科学省告示第 74 号）」において、²¹⁴Bi は 10Bq/g を超えない場合は放射性物質として取り扱う必要がないことが法令で定められており、上記値は全く問題無い値である。

4.2.4 工場設備等への影響調査

(1) 目的

実際に発生したクリアランス金属を原料として内容器を模した鋳鋼品（SCW550 相当）を製造の際に、シンチレーションサーベイメータを用い、製品・工場設備・発生物の線量当量率を測定し、本作業による放射能の影響を確認することを目的とした。

(2) 調査方法

製造工程のうち、工場設備、製品由来の地金および発生物（産業廃棄物）の指定箇所に、100mm 以内の距離にてシンチレーションサーベイメータの振れ幅を 1 分間確認し、その最大と最小を記録して、 γ 線測定した。測定結果は、線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)にて表示する。

対象箇所は、下記の通りとする。

- ・工場設備（製鋼工場、熱処理工場、鋳造工場、機械工場）
- ・製品由来の地金（明らかに金属に由来する発生物を含む）
- ・発生物（産業廃棄物として処理されるべき物件）

比較用として、クリアランス金属使用前の平常値を 3 回事前測定し、次に使用開始後の値を測定して、差異を評価した。平常時の製品材質は SCW550 相当に限定されることはない。

全体工程と放射線量測定対象物の関係は図 4.2.4-1 参照。

(3) 調査結果

クリアランス金属使用後の工場設備、製品由来の地金および発生物の放射線測定している様子を図 4.2.4-2～図 4.2.4-11 に示し、それらの測定結果を表 4.2.4-1～表 4.2.4-11 に示す。平常時と本測定の有意な差は認められなかったが、平常時から若干高めの値が鋳物用取鍋、溶鋼の残湯、熱処理炉体台車（レンガ）及び鋳物砂で認められた。鋳物用取鍋及び熱処理炉体台車（レンガ）にはジルコンレンガが使用されており、ジルコンレンガには天然ウラン及び天然トリウムを成分として含んでいることが判っている⁶。したがって、鋳物用取鍋及び熱処理炉体台車（レンガ）の若干高めの値は天然ウラン及び天然トリウムの影響と推察される。また、値の高い溶鋼の残湯表面には鋳物用取鍋レンガが欠け落ちていたことが判っており、その影響と推察される。また、新品の鋳物砂の放射線を計測したところ、こちらにも若干高めの値が検出されたため、鋳物砂の線量測定結果が若干高かったのは、鋳物砂に元々含まれる自然放射線の影響であると推察される。

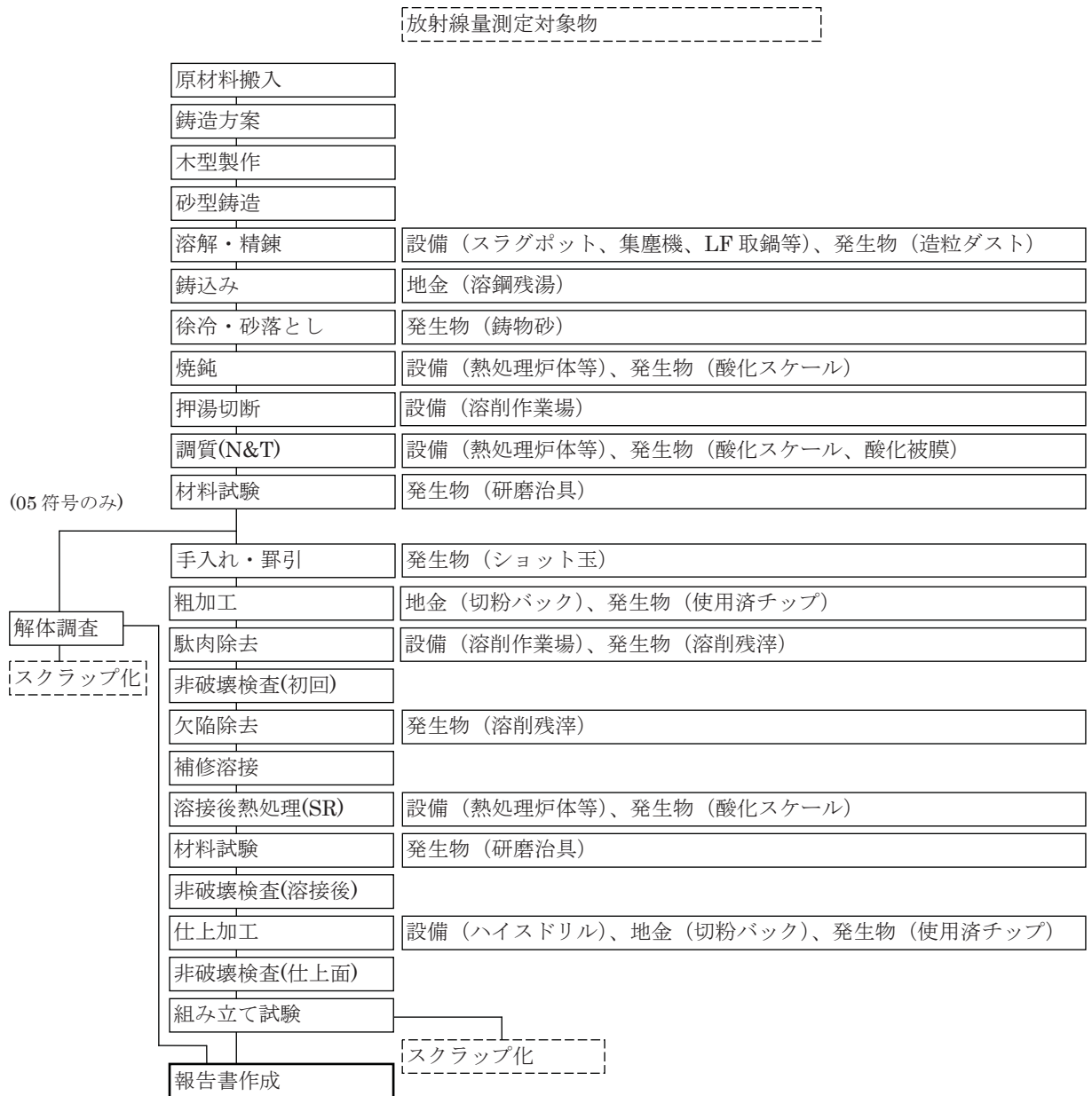


図 4.2.4-1 全体工程と放射線量測定対象物の関係



図 4.2.4-2 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：製鋼工場）



図 4.2.4-3 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：鑄造工場）



ハイスドリル(仕上加工後)

図 4.2.4-4 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（設備：機械工場）

		
台車 (AN 後)	台車 (NT 後)	台車 (SR 後)
		
加熱台 (AN 後)	加熱台 (NT 後)	加熱台 (SR 後)
		
熱電対 (AN 後)	熱電対 (NT 後)	熱電対 (SR 後)
		
断熱ウール (AN 後)	断熱ウール (NT 後)	断熱ウール (SR 後)
		
ワイヤー (AN 後)	ワイヤー (NT 後)	ワイヤー (SR 後)

図 4.2.4-5 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子 (設備：熱処理工場)



溶鋼の残湯

図 4.2.4-6 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（製品由来地金：鑄造工場）



切粉バック(粗加工後)



切粉バック(仕上加工後)

図 4.2.4-7 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（製品由来地金：機械工場）



建屋集塵機造粒ダスト



直引集塵機造粒ダスト

図 4.2.4-8 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：製鋼工場）

		
酸化スケール (AN 後)	酸化スケール (NT 後)	酸化スケール (SR 後)

図 4.2.4-9 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子 (発生物：熱処理工場)

		
鋳物砂(NT 後 1 符号)	鋳物砂(NT 後 2 符号)	鋳物砂(NT 後 3 符号)
		
鋳物砂(NT 後 4 符号)	鋳物砂(NT 後 5 符号)	NT 後酸化被膜 (1 符号・本体・50mm 厚)
		
NT 後酸化被膜 (2 符号・蓋・50mm 厚)	NT 後酸化被膜 (3 符号・本体・200mm 厚)	NT 後酸化被膜 (4 符号・蓋・200mm 厚)
		
NT 後酸化被膜 (5 符号・本体・200mm 厚)	ショット玉 (NT 後手入れ後)	ガウジング溶削残滓 (駄肉除去)

図 4.2.4-10 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子 (発生物：鋳造工場)

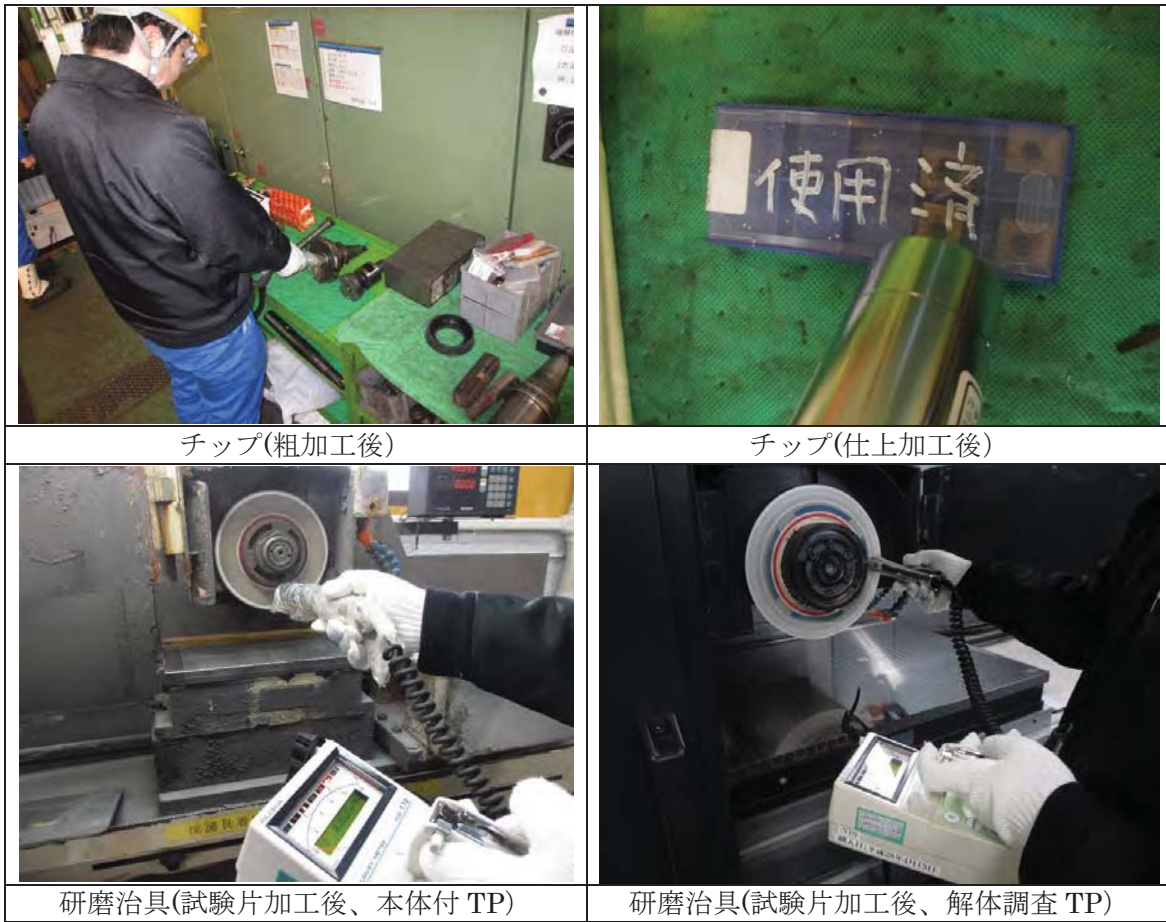


図 4.2.4-11 クリアランス金属使用後の放射線測定の様子（発生物：機械工場）

表 4.2.4-1 放射線測定結果（設備：製鋼工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
建屋集塵機	濾布室	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05
	造粒前コンベア	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05
取鍋内壁等	LF 取鍋	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.07	0.03	0.06
	鋳物用取鍋	1.66	1.74	1.56	1.74	1.59	1.72	1.54	1.74
	スラグポット	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
直引集塵機	電気炉ダクト	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
	濾布室	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
	造粒前コンベア	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.02	0.05

表 4.2.4-2 放射線測定結果（設備：鑄造工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)					
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
作業場	溶削作業場	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03

設備	対象物	本測定（押湯切断後）		本測定（駄肉除去後）		本測定（欠陥除去後）	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
作業場	溶削作業場	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04

表 4.2.4-3 放射線測定結果（設備：熱処理工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)					
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
熱処理 炉体	台車（レガ）	0.07	0.11	0.07	0.11	0.06	0.10
	加熱台	0.03	0.05	0.03	0.06	0.03	0.05
熱電対等	熱電対	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04
	熱電対設置位置（断熱ウール）	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05
共通設備	吊上用ワイヤ	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03

設備	対象物	本測定（AN 後）		本測定（NT 後）		本測定（SR 後）	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
熱処理 炉体	台車（レガ）	0.06	0.10	0.06	0.10	0.06	0.09
	加熱台	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05
熱電対等	熱電対	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05
	熱電対設置位置（断熱ウール）	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05
共通設備	吊上用ワイヤ	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06

※SR 熱処理工場は煉瓦造りのため、壁からの放射線量が少し高め。最大 0.08 μ Sv/h。

表 4.2.4-4 放射線測定結果（設備：機械工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
加工機械	ハイスドリル	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02

表 4.2.4-5 放射線測定結果（製品由来地金：鑄造工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
工程	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
鑄込後	溶鋼の残湯	0.06	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.02	0.04

表 4.2.4-6 放射線測定結果（製品由来地金：機械工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
工程	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
粗加工後	切粉バッグ	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
仕上加工後	(集積後)	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03

表 4.2.4-7 放射線測定結果（発生物：製鋼工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
建屋集塵機	造粒ダスト	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.02	0.04
直引集塵機	造粒ダスト	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03

表 4.2.4-8 放射線測定結果（発生物：熱処理工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)					
設備	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
台車上	酸化スケール	0.07	0.11	0.07	0.11	0.06	0.10

設備	対象物	本測定 (AN 後)		本測定 (NT 後)		本測定 (SR 後)	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
台車上	酸化スケール	0.06	0.10	0.06	0.10	0.06	0.09

表 4.2.4-9 放射線測定結果（発生物：鑄造工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
工程	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定 1 符号	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
型バリ後	鑄物砂	0.07	0.18	0.14	0.18	0.14	0.18	0.15	0.18
調質後	酸化被膜	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02

工程	対象物	本測定 2 符号		本測定 3 符号		本測定 4 符号		本測定 5 符号	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
型バリ後	鑄物砂	0.13	0.15	0.16	0.18	0.11	0.15	0.16	0.18
調質後	酸化被膜	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03

表 4.2.4-10 放射線測定結果（発生物：鑄造工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
工程	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
調質手入後	ショット玉	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
駄肉除去後	溶削残滓	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.03
欠陥除去後								対象発生物無し	

※欠陥除去でグラインダーを用いたため、ガウジングによる溶削残滓の発生物はなし。

表 4.2.4-11 放射線測定結果（発生物：機械工場）

測定箇所		測定値 線量当量率(μ Sv/h)							
工程	対象物	平常時 1 回目		平常時 2 回目		平常時 3 回目		本測定	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
粗加工後	使用済チップ	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02
仕上加工後	使用済チップ	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
試験片加工後	研磨治具	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02	0.03

4.2.5 室蘭市モニタリングポストの状況

(1) 目的

クリアランス金属を原料とした溶解・精錬・鋳込み作業前後において、室蘭市に設置しているモニタリングポストの線量当量率の値を記録し、本作業による環境への放射能の影響を確認することを目的とした。

(2) 調査方法

下記 URL より室蘭市を選択し、溶解・精錬・鋳込み作業前後の線量当量率 ($\mu\text{Sv/hr}$) をグラフ化し、溶解・精錬・鋳込みタイミングでの空間線量の変化を確認した。

http://www.iph.pref.hokkaido.jp/eiken_radiation/RadiationMenu.html

なお、溶解・精錬作業は図 4.2.5-1 に示す製鋼工場で行い、鋳込み作業は鋳造工場で行った。それぞれ胆振総合振興局にあるモニタリングポストに対し、およそ東に位置している。



図 4.2.5-1 室蘭市の放射線モニタリングポストと製鋼工場、鋳造工場の位置関係

(3) 調査結果

120ton 電気炉による溶解送電スタートは 2016 年 10 月 5 日 0:30 頃、精錬を行う取鍋精錬炉に溶鋼を 120ton 電気炉から受けたのが 2:40 頃、砂型へ鋳込みが 7:30 頃。これらの作業前後の線量当量率 ($\mu\text{Sv/hr}$) をグラフ化した結果を図 4.2.5-2 に示す。溶解・精錬・鋳込みタイミングでの空間線量の変化は確認できなかった。しかしながら、これらの作業とは関係無いタイミングで空間線量が上昇しており、その理由を調査するために、降雨量及び風向きを調査した結果を図 4.2.5-3 に示す。降雨のタイミングで空間線量が上昇しており、同様の現象は各地の

モニタリングポストでも観察されていることから、元々空气中に漂っていた放射性物質が雨に取り込まれて、地上に降り注いだ結果、空間線量が上昇したと推察される。

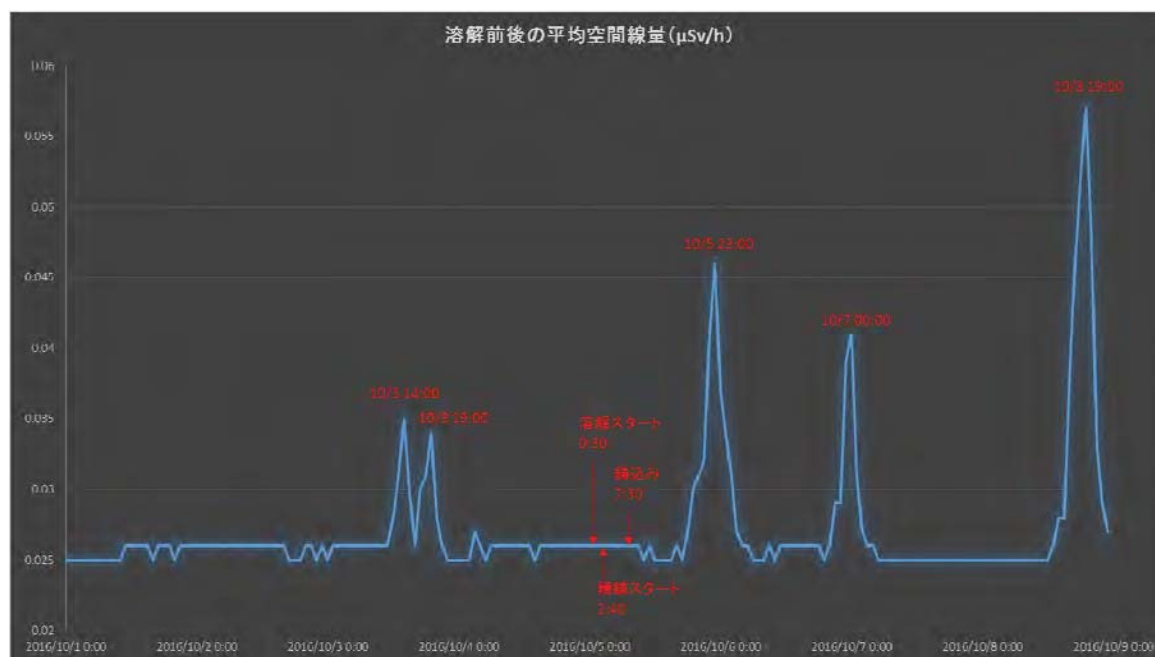


図 4.2.5-2 溶解・精錬・鋳込み時のモニタリングポスト線量当量率 (μSv/h)

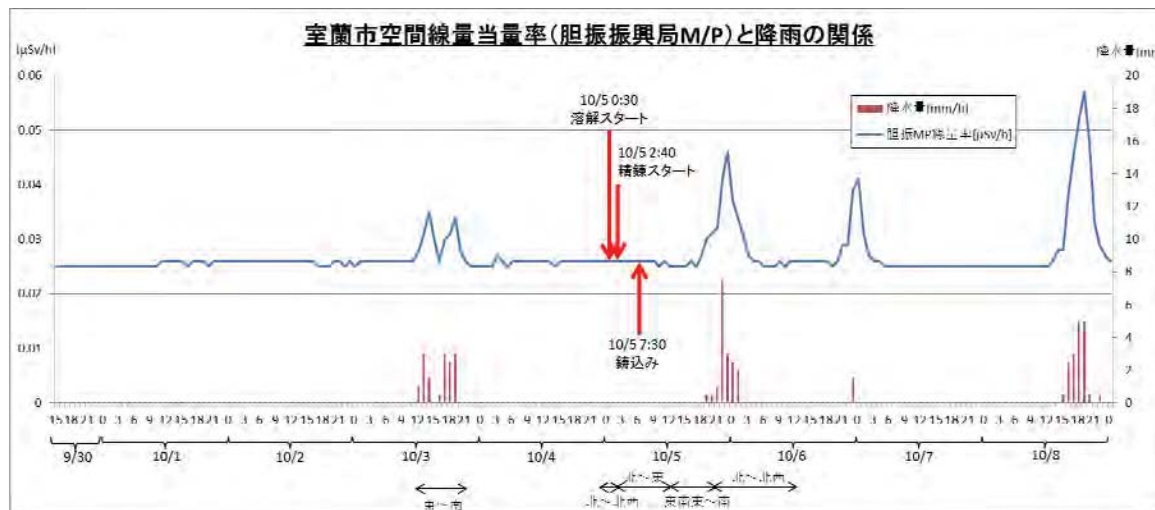


図 4.2.5-3 室蘭市空間線量当量率と降雨の関係

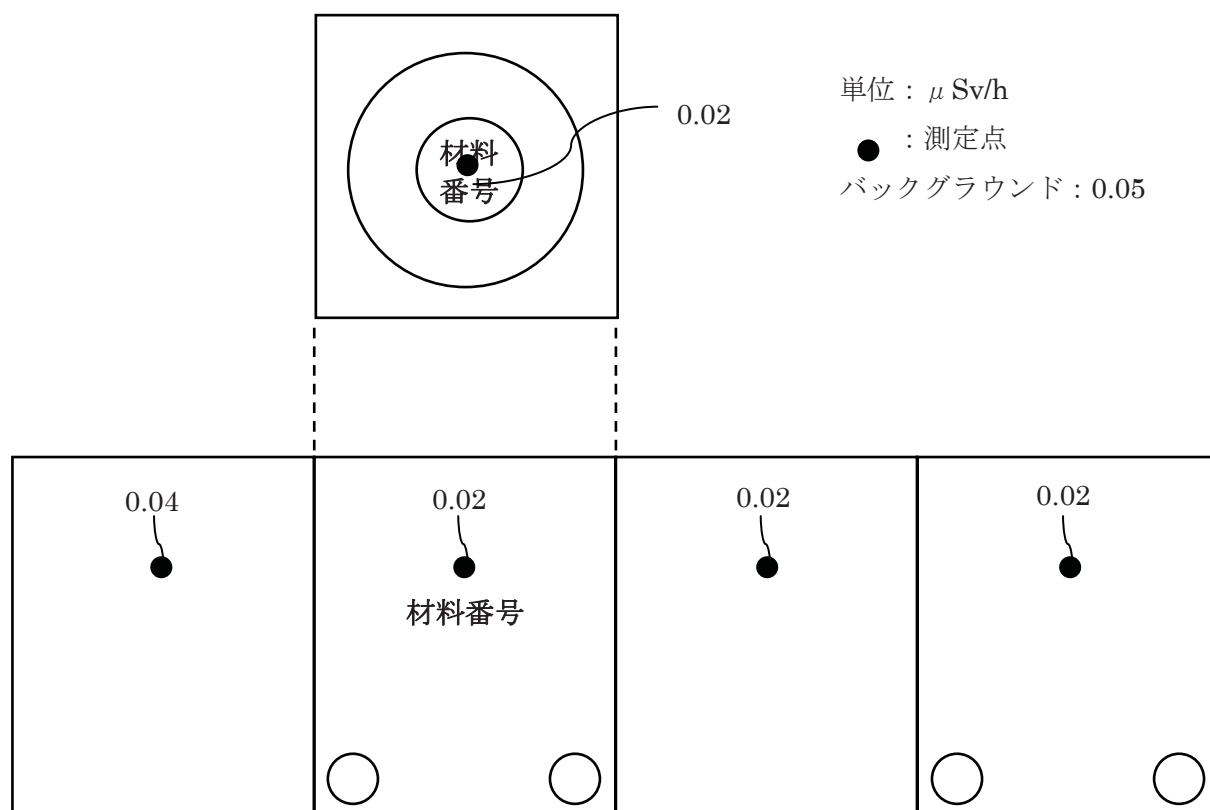
4.2.6 クリアランス金属を用いた試作品公開

クリアランス金属を用いた試作品の完成の際、室蘭関係団体・関係機関（経済産業省エネルギー庁、北海道庁、胆振総合振興局、室蘭市役所）の代表者及びマスコミ関係者に立ち会っていただき、蓋閉め作業を見学いただいた後、放射能の影響が無いことを確認していただいた。その立会いの様子を図 4.2.6-1 に示し、試作品表面の線量当量率測定結果を図 4.2.6-2 に示す。専用容器内のクリアランス金属表面の線量当量率は $0.02\sim 0.04\mu\text{Sv/h}$ と、バックグラウンドと同じレベルになり、図 4.2.2-9 に示す自然界放射線の揺らぎの範囲であることを確認した。

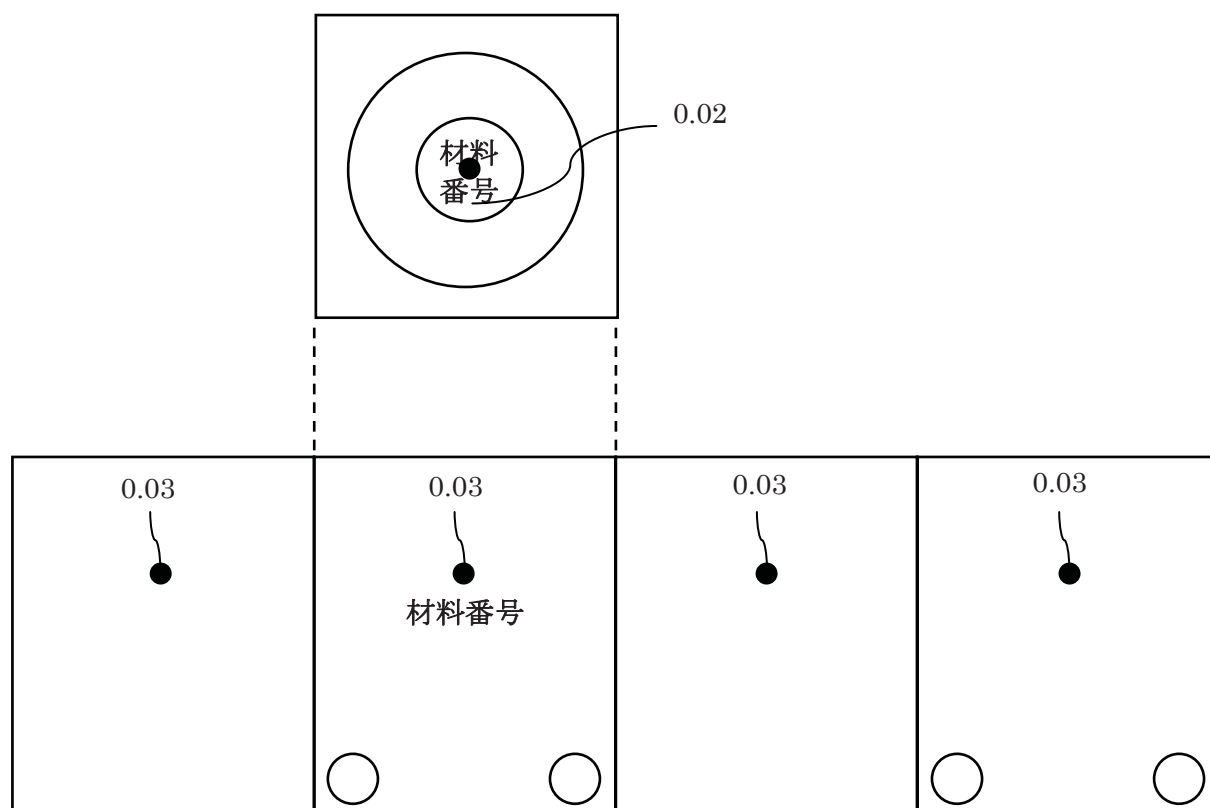


図 4.2.6-1 クリアランス金属試作品の完成立会いの様子

（平成 29 年 2 月 16 日）



(1) 本体 A 及び蓋 A (板厚 50mm)



(2) 本体 B 及び蓋 B (板厚 200mm)

図 4.2.6-2 クリアランス金属試作品の線量当量率測定結果

4.3 実証試験結果のまとめ

- ・地元住民への事前説明に関しては、平成 28 年 6 月 28 日に事業報告会を室蘭市で行い、アンケート調査の結果、回答者の約 7 割の方から肯定的な意見をいただいた。
- ・クリアランス金属を東海発電所からトラックで日立港に搬送し、日立港から室蘭港まで直接船輸送した。輸送前後での船内及びクリアランス金属輸送容器を線量測定し、受け入れの際にもマスコミや地元関係者にお立ち会いいただき、放射能の影響が無いことを確認いただいた。
- ・実証試験では設計した 50mm 及び 200mm の内容器が実際に製造可能であることを確認し、製作した内容器の放射線遮へい能力、耐久性などについて確認し、再利用プロセスは問題無く実施可能であることを確認した。
- ・工場設備等への影響調査の結果、クリアランス金属使用後の設備、製品由来地金、発生物の線量当量率は、使用前の平常時と変化は無かった。また、試作品からの放射能は検出限界以下で、クリアランスレベル以下を満足している。
- ・室蘭市のモニタリングポストを確認した結果、溶解・精錬・鋳込みタイミングでのモニタリングポストの空間線量の変化は無かった。
- ・クリアランス金属を用いた試作品を完成時にマスコミや地元関係者に公開し、蓋閉め作業を見学いただいた後、放射能の影響が無いことを確認していただいた。

参考文献

- [1]日本铸鍛鋼会 鍛鋼研究部会（編）「衝撃値を主体とした炭素鋼鍛鋼品の機械的性質データ集」、平成 15 年 2 月、P.51
- [2]S.T.Rolf and J.H.Barsom: Fracture and Fatigue Control in Structures-Applications of Fracture Mechanics, 1977 by Prentice-Hall, Inc.
- [3]P.E. Bennett, G.M. Sinclair: ASME paper, 65-MET-11(1965).
- [4]後藤浩二、平澤宏章、豊貞雅宏：日本造船学会論文集、176(1994)、pp.501-507
- [5]東郷敬一郎著、材料強度学、内田老鶴圃
- [6]放射線医学総合研究所ウェブサイト
<http://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/NORMDB/PDF/37.pdf>

添付資料

1. 事業報告会実施結果
2. 事業報告会における来場者アンケート結果
3. 事業報告会でいただいた主なご質問と回答
4. コベルコ科研 分析結果報告 クリアランス分析

説明会の実施結果

時	場所	参加人数
6月28日 ～20:00	室蘭市文化センター 大会議室	39人

日本製鋼所、神戸製鋼所、電気事業連合会

- ①事業の背景、必要性
- ②平成27年度事業結果概要
- ③平成28年度事業計画概要
- ④7/7クリアランス金属搬入時の実施事項

・スクリーン資料に基づく説明（資料は当日紙でも配布）

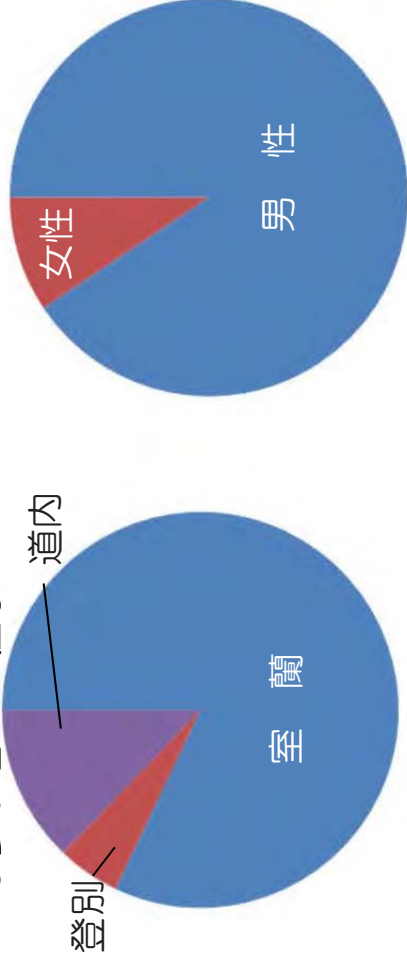
事前のお知らせは、新聞広告(北海道新聞及び室蘭民報：の朝刊にて)により行いました。また、6/12 室蘭民報（朝刊）に
していただきました。



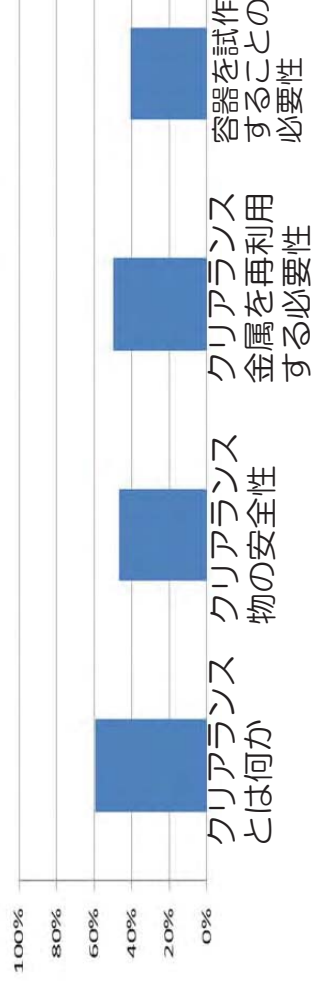
アンケート結果

アンケート回答率：82% (31人/39人)

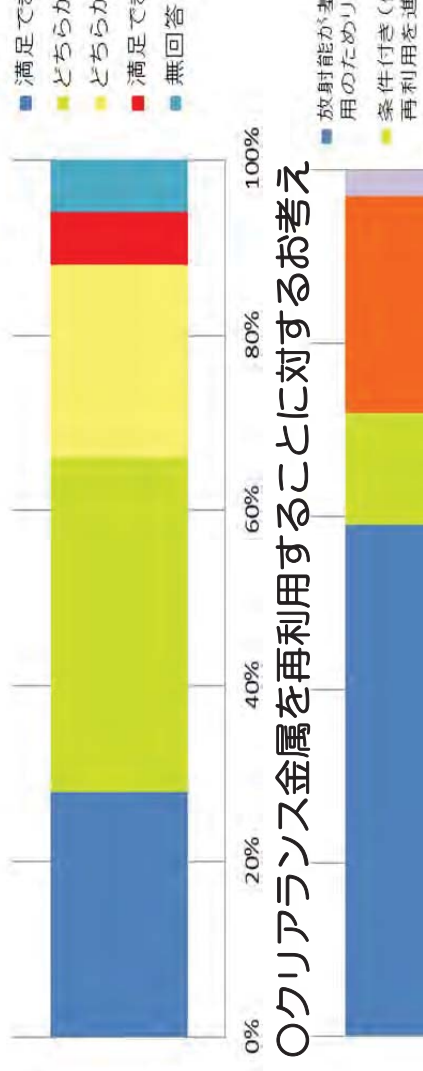
○参加者のお住まい ○男女比率



○説明会でわかったこと（複数回答）



○説明会にご満足いただけましたか。



○クリアランス金属を再利用することに対するお考え

は、国の確認を受けることにより、一般の物と同様に再利用や処分ができる
手続きのことを「クリアランス」と言い、法律（*）で認められた制度です。
のを「クリアランス物」といいます（本事業では金属）。
燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第六十一条の二（放射能濃度についての確認等）

放射線性廃棄物
安全に処分します
約2%

クリアランスレベルの
産業廃棄物と同様に
処分します

資源として有効に
利用します

放射性でないもの
産業廃棄物と同様に
処分します
資源として有効に
利用します
約93%

沸騰水型原子力発電所

保安院(パンフレット)

本事業の概要

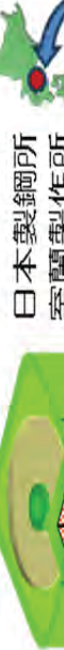
クリアランスレベルの廃材の再利用を進めるための「実証試験」として、
以下のを行います。

ベールの廃材を東海発電所から室蘭製作所に持ち込み、放射性廃
材のための「容器」を試作します。

クリアランスレベルの廃材を利用しても問題ないことを確認します。
その他の試験を通して、クリアランスレベルの廃材を用いた「容
器」を開発します。

内容器
過去の試作品)

処分器



日本製鋼所
室蘭製作所

基礎試験の結果より...

- ① 冷却方法（水冷、油冷、空冷）による強度への影響を検討
- ② リン、硫黄濃度に対する金属の壊れやすさを検討。

平成28年度に実際にクリアランス金属を使用した内容器
の製作を進めることについて、技術的な見通しを得ることを目的

☆住民説明会の実施（平成27年11月27日、28日）

本事業を行うにあたり、クリアランス金属を室蘭に搬入することになりますが、「クリ
アランス金属の搬入・搬出の安全性」について、説明会を開催し、関係者の理
解浸透を図ります。

平成28年度実施計画

平成28年度の事業計画（案）は下表のとおりであり、主に以下のことを実施

- クリアランス金属を東海発電所（茨城県）から室蘭市（日本製鋼所）へ搬入
- 処分容器（内容器）の試作品の製作。
- 試作品の放射線・放射能測定／製作過程等における設備の放射線・放射能測定
- 内容器製造方法の規格案の検討



クリアランス金属を室蘭に搬入・内容器（試作品）の製
作・放射線・放射能測定／設備等の放射線・放射能測定

経済産業省委託事業 「原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発」 事業報告会

来場者アンケート実施結果

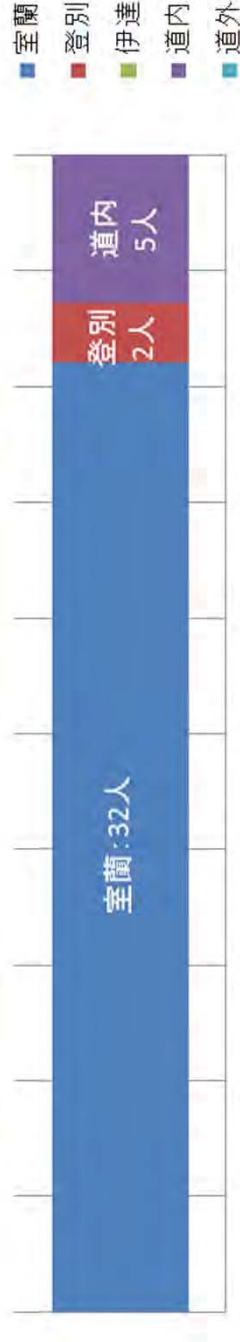
平成28年6月28日に行いました事業報告会において、
ご来場された方にご協力いただきましたアンケートの結果をお知らせいたします。
(アンケート結果は、統計的に集計を行ったものとしてお知らせしております)

アンケート結果

1

➤ アンケート回答率：82%（31人／39人）

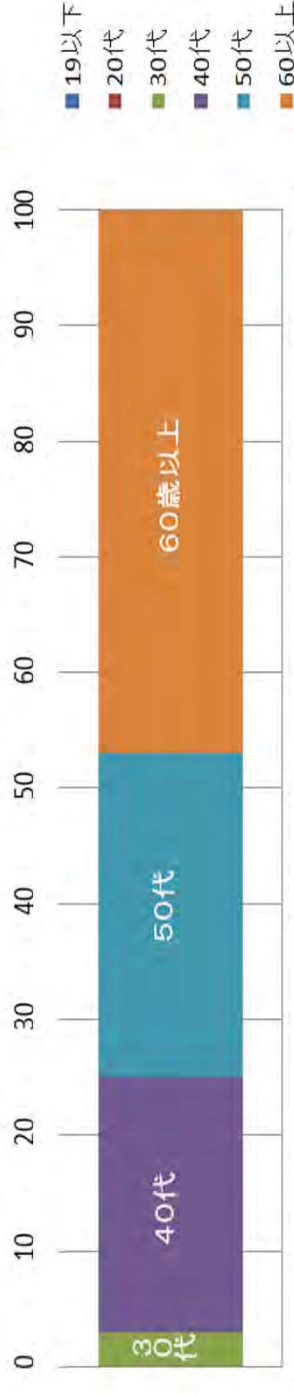
○住民説明会
参加者の出身地



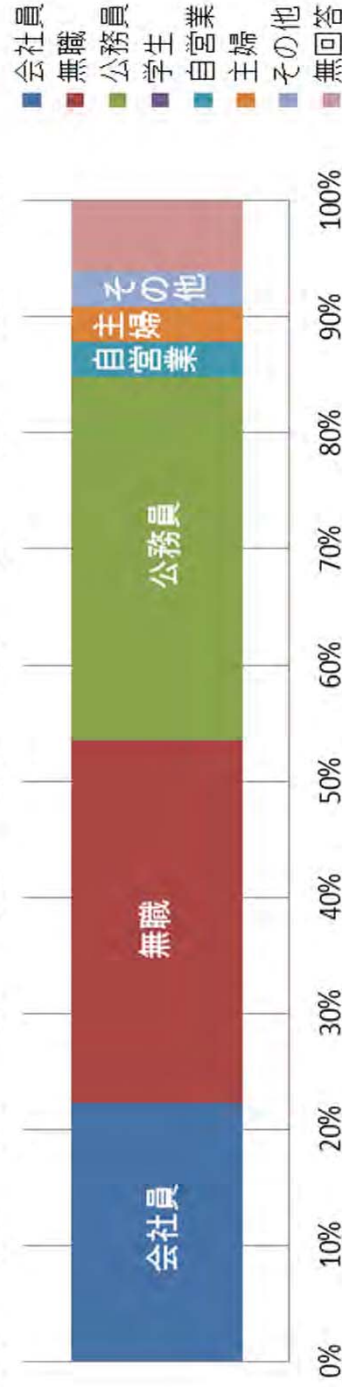
○男女比率



○アンケート回答者の
年齢比率



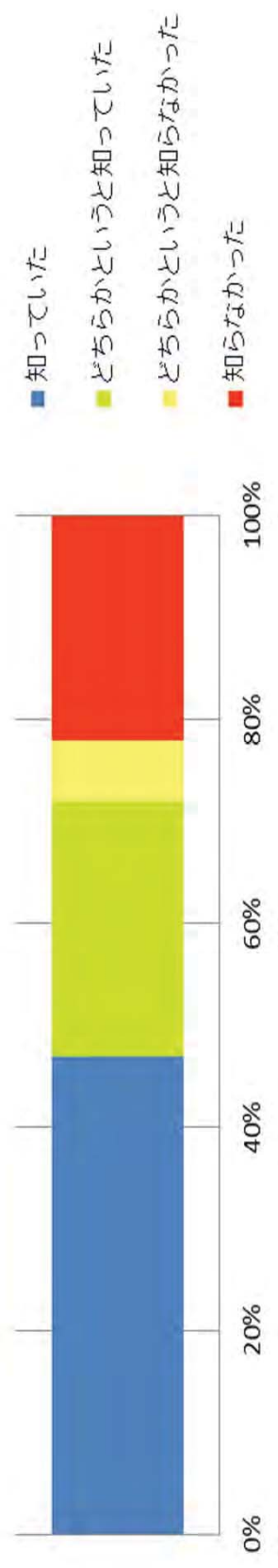
○アンケート回答者の
職業



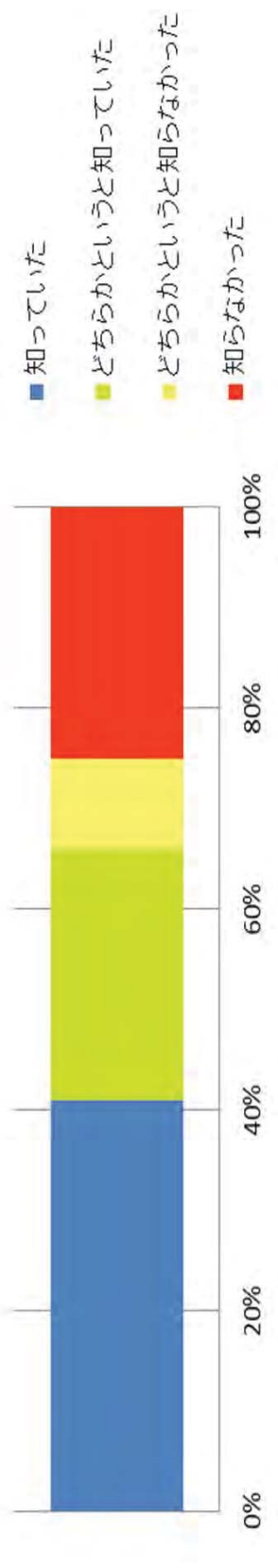
アンケート結果

2

○原子力発電所から放射能が基準値以下の金属は放射性廃棄物ではなく（クリアランス）をご存知でしたか。



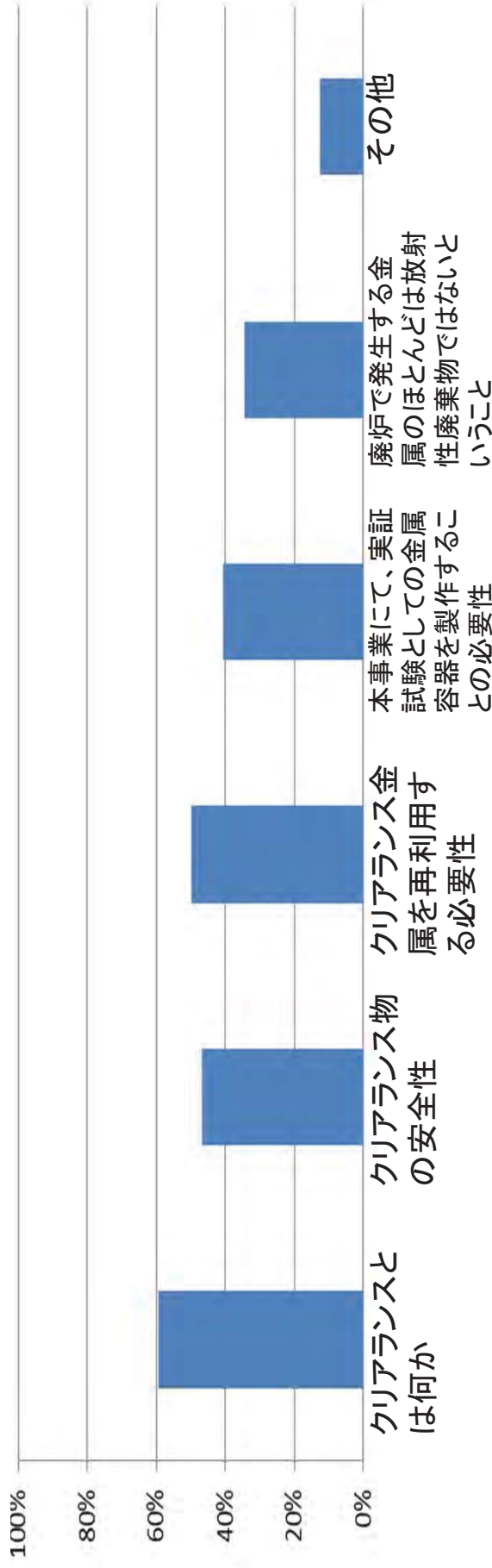
○原子力発電所の廃止措置に伴い大量の金属類が出てきますが、大部分は放射性廃棄物でないことをご存知でしたか。



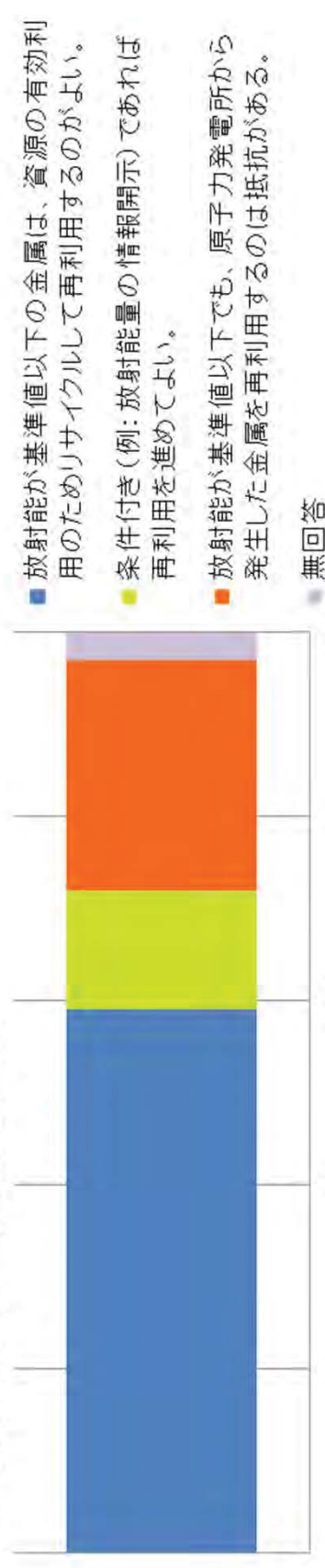
アンケート結果

3

○今回の説明会を通してわかったことを教えてください。(複数回答可)



○資源の有効利用として原子力発電所の金属をリサイクルすること(クリアランス制度の活用)について、どのようにお考えですか。

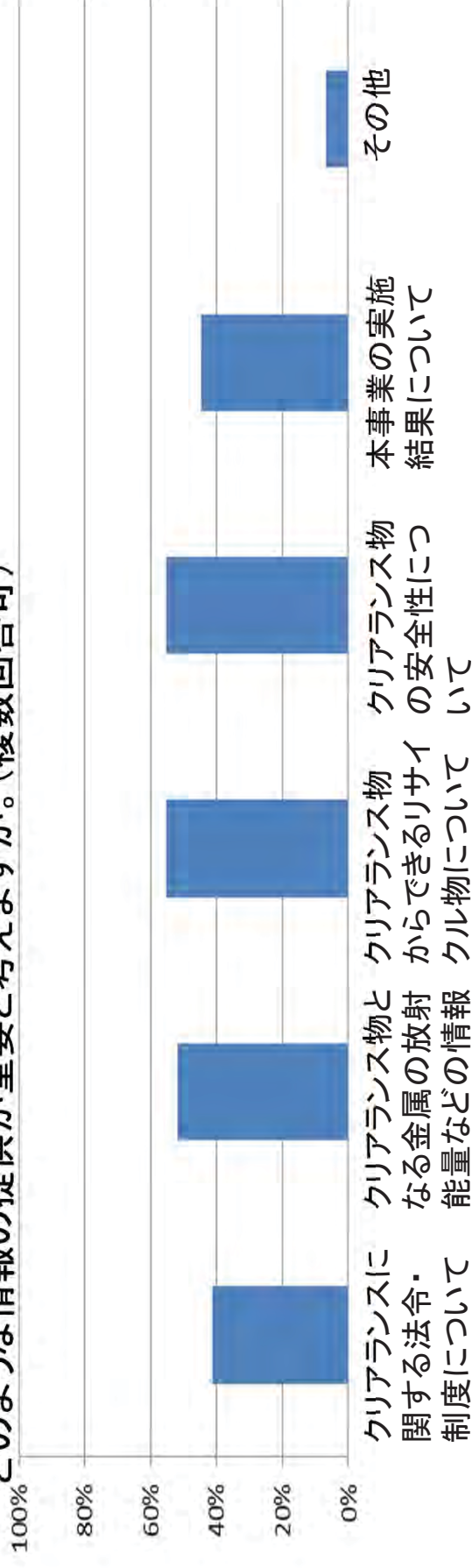


※条件付きの再利用については、その条件として「一般に出回らないこと。労働者被ばくを出来る限り抑えること。」とのご意見をいただきました。

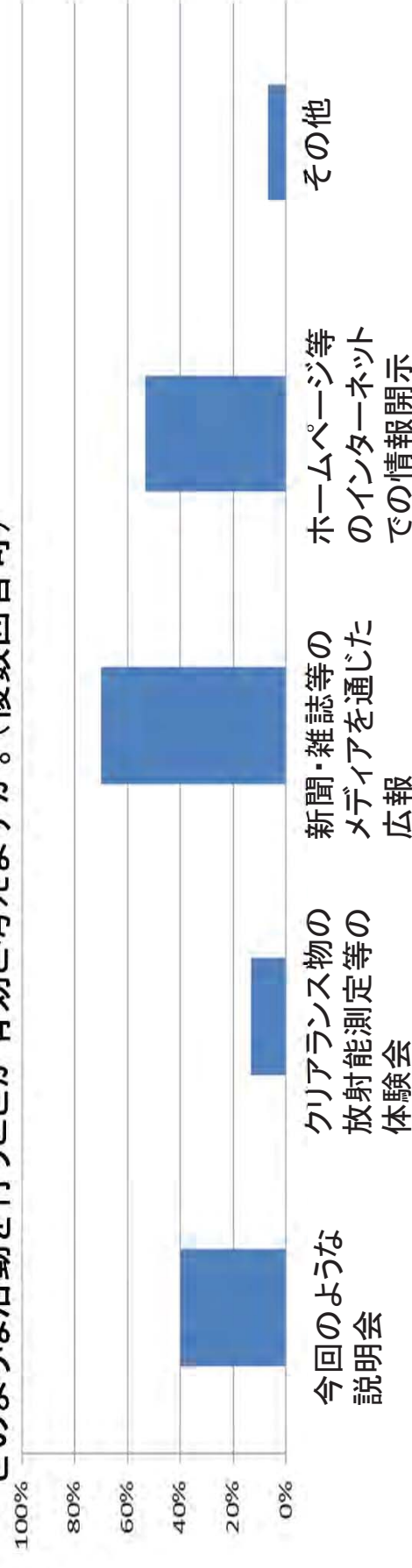
アンケート結果

4

○今後、原子力発電所の金属のリサイクルを進める(クリアランス制度の活用)には、
どのような情報の提供が重要と考えますか。(複数回答可)



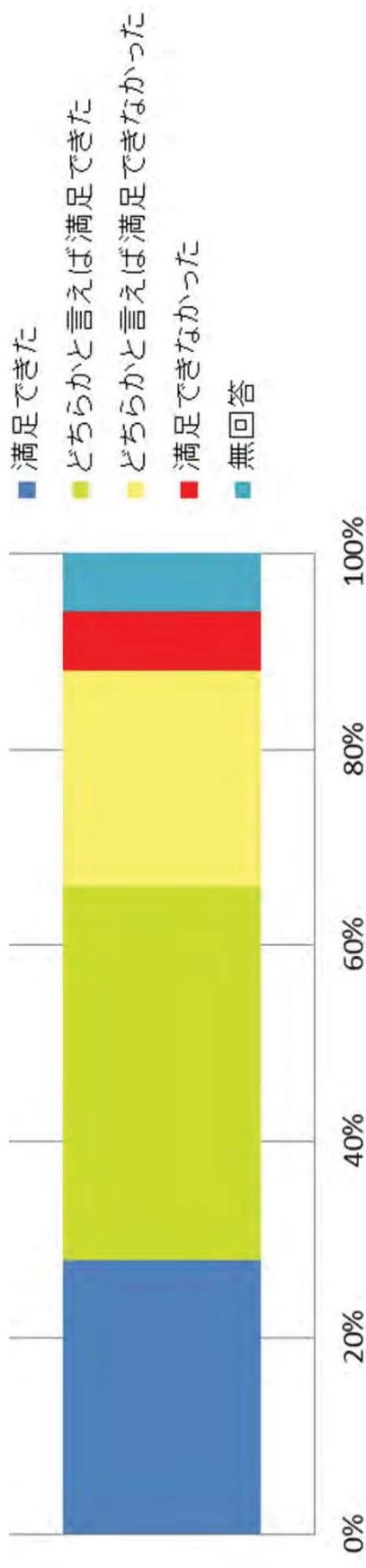
○今後、原子力発電所の金属のリサイクルを進める(クリアランス制度の活用)には、
どのような活動を行うことが有効と考えますか。(複数回答可)



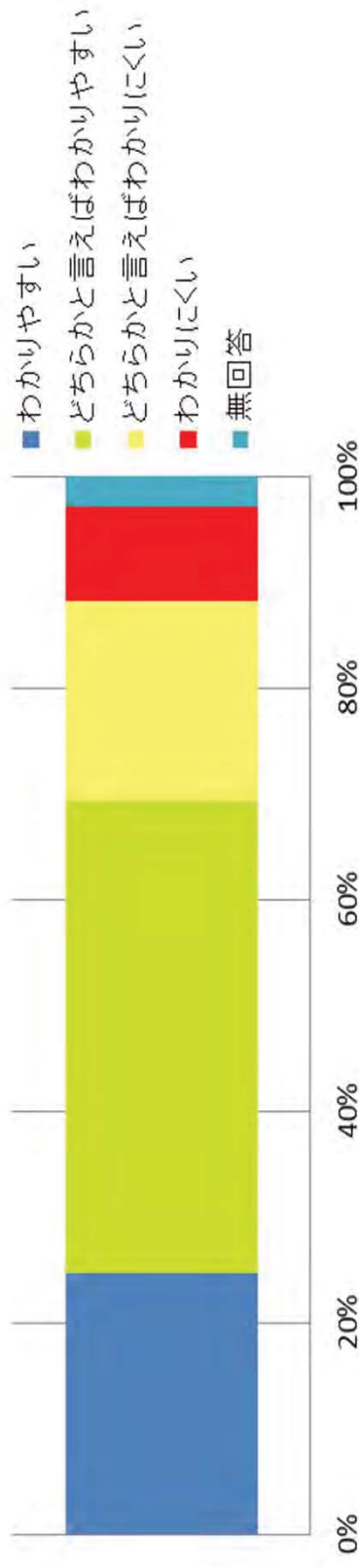
アンケート結果

5

○本日の説明会について満足いただけましたか。(○印は1っだけ)



○本日の説明会について、全体として分かりやすい内容でしたか。(○印は1っだけ)



アンケート結果

6

○先の質問で、「3 どちらかといえばわかりにくい」「4 わかりにくい」と答えた方にご質問です。
わかりにくかった点を教えてください。（複数回答可）



その他

事業報告会でいただいた主なご質問とご回答

平成 28 年 6 月 28 日に開催いたしました事業報告会において、いただきましたご質問とご回答をご紹介します。

(本事業及びクリアランスに関するもののみを記載)

Q1：放射性廃棄物の処分先が決まっていない中で、先取りして処分容器に再利用するのは問題ではないか。再利用については誰がいつ決めたのか。

A1：再利用については、平成 17 年度の国会審議を経て法律が制定され、その際に安全を確認したクリアランス以下の廃材については再利用していくことが望ましいとされています。

Q2：問題ないものならば説明会は不要では。なぜわざわざ説明するのか。

A2：地元の方にご理解をいただくために説明会を実施させていただいております。

Q3：今後廃炉が進むにつれ、世界中のクリアランスが室蘭に集まってくるのではないか。今後何年の事業を考えているのか。

A3：本実証試験は昨年から開始され 3 年の計画で実施する予定であり、それ以降の計画は現時点で決まったものはなく、4 年目以降は白紙です。

Q4：クリアランスレベルが Bq で、放射線から受ける影響は mSv でわかりづらい。

A4：Bq は放射線を出す側／Sv は放射線を受ける側からみた強さの単位です。クリアランスレベルは、現実的に想定しうる再利用について、どういう経路を通して放射能が人体に到達するのかといった経路の設定条件を設定し、放射線を受ける側の影響が年間 0.01mSv (=10 μ Sv) 以下となるよう定めたものです。ここで年間 0.01mSv (=10 μ Sv) は自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、人の健康に対するリスクが無視できるレベルとして国際的にも広く定着しているものです。

Q5：クリアランス金属の放射能 (Bq) から被曝ばく量 (Sv) への換算において、どのようなシミュレーションを行ったのか示していただきたい。

A5：国際原子力機関や国際放射線防護委員会において、クリアランスの再利用や処分の代表的なシナリオを考慮し、一般公衆に予想される被ばくが年間 10 μ Sv のオーダー

またはそれ以下となる放射能濃度として、最終的に年間 $10\mu\text{Sv}$ の被ばくに相当するクリアランス物の Bq 数を逆算して算出したのがクリアランスレベルです。

一例として、クリアランス金属を標準的な溶融炉を用いて溶融処理をするとした場合、工場の排気から粉塵として屋外に排出され、周囲の農地で生産している野菜に付着することを想定しております。このシナリオでは、この野菜を採取して人々が食べ（1 年間に 12kg ）たり、あるいは、溶融処理する工場の周辺に住む一般の人が、工場から出る排気からの粉塵を吸引する（1 時間に 0.96m^3 ）ことによって、体内に取り込むことを想定しています。

このように、様々なシナリオから導出された数値の中で一番小さい数値をクリアランスレベルとしています。

Q6：搬入される金属の測定値のうち、H-3（トリチウム）濃度が異常に高いがなぜか。内部被ばくに大きく影響するのではないか。

A6：クリアランスレベルとは通常の産業活動を想定し、年間 $10\mu\text{Sv}$ の被ばく量となる放射エネルギーを核種ごとに規定した量です。ここで H-3（トリチウム）については、主に水であることより身体に長く蓄積せず、人体への影響が低いためクリアランスレベルは高く設定されています。一方 Cs-137（セシウム 137）は、体内に長く残って身体に影響を与えることから、クリアランスレベルが低くなっています。

Q7：（福島原子力発電所事故の）指定廃棄物の再利用は、当初 100Bq/kg であったが、 $8,000\text{Bq/kg}$ まで引き上げられた。クリアランスも同じことがなされたのではないか。

A7： $8,000\text{Bq/kg}$ は 1 F 事故の廃棄物に限定された基準値であり、通常の廃止措置や運転中の原子力施設から発生するもののクリアランスレベルとは異なります。

Q8：説明の中で ICRP のことを話しているが、ICRP の検討は過小評価しているとされている知見もあり、信用できない。。

A8：ICRP は各国の専門家による集団であり、これによる勧告等は信ぴょう性があるものと理解しております。

Q9：昨年 11 月の住民説明会で、「（平成 28 年）2～3 月頃に情報発信を行う」と言ったがなされなかった。また、報告書が資源エネルギー庁のホームページに掲載されなかったため、5 月に問い合わせたが、まだ出ていないと言われた。本日の資料ではホームページにアップされたとあったが、いつ掲載されたのか。なぜ遅くなったのか。

A9：日本製鋼所からは３月３１日に報告書を国へ提出しており、国によるHPへの掲載は５月末でした。これは報告書提出から審査等の期間が必要であったためと考えられます。

以 上

ご参考資料

クリアランスレベル設定の基本的考え方

1

【基本的な考え方】

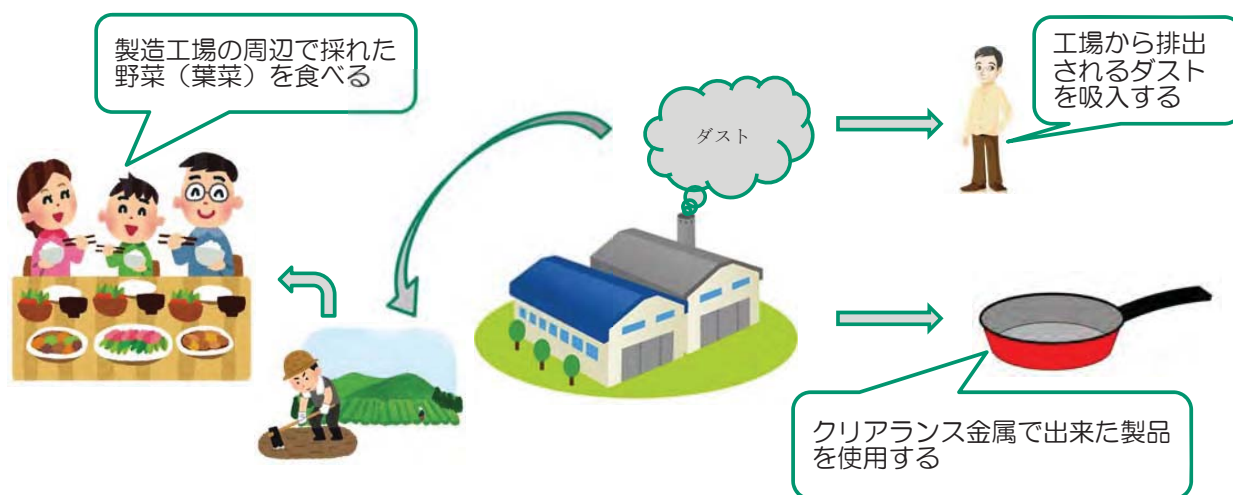
- 法令で定める原子力施設周辺の公衆の**個人線量限度**（**1 mSv／年**：自然界から受ける線量は除く）**を超えない。**
- **自然界の放射線レベルに比較して十分小さく、**
また、**人の健康に対するリスクが無視できるものとする。**

＜具体的な基準の決め方＞

- 個人が受ける被ばくには、原子力施設やそれ以外の施設などからの影響も考えられることから、**クリアランス物の利用によって受ける線量は、法令で定める原子力施設周辺の公衆の個人線量限度（1mSvオーダー）の10分の1（100μSv／年）を超えないようにする。**
- クリアランス物の利用の中でも、**複数の線源（評価経路）が考えられることから、一つの線源（評価経路）からの被ばく線量が、さらに10分の1の10μSv／年を超えないようにクリアランスレベル（Bq/g）を設定する。**

『「主な原子力施設におけるクリアランスレベルについて
（平成11年3月17日 原子力安全委員会 放射性廃棄物安全基準専門部会）」を参照』

- クリアランスレベルは、次のページのような**再利用（処分）の経路（73経路）**を想定し、**年間 $10\mu\text{Sv}$** を超えないような**放射能濃度（Bq/g）**を逆算しています。
- 例えば、クリアランス金属を溶融して、再利用品を製作する場合には、**再利用品を使うことによる影響**の他、**製造過程における作業・周辺の方等への影響**も考慮して、クリアランスレベルが設定されます。

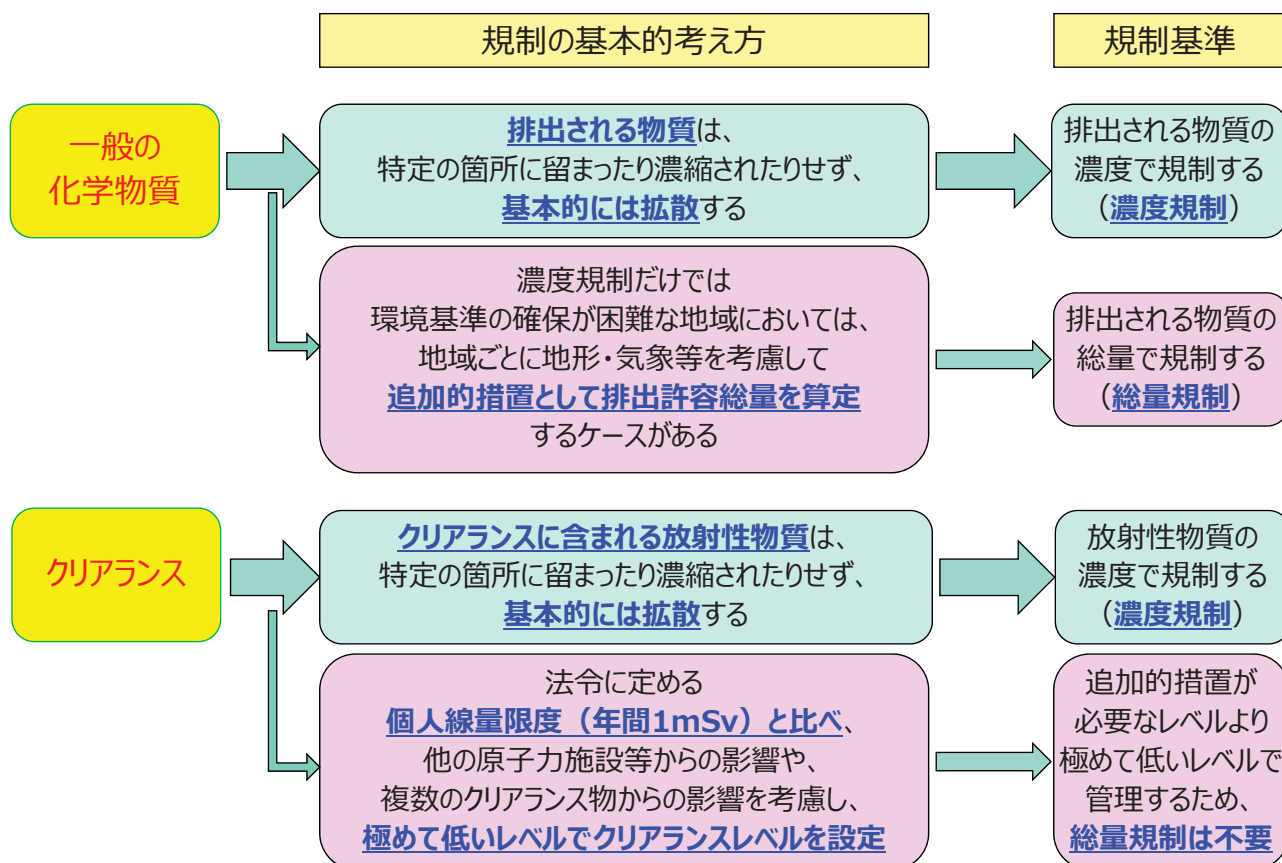


【参考】濃度規制と総量規制

- クリアランスレベルは、一般の化学物質と同様、基本的には「濃度」で規制されています。
- 一般の化学物質では、地域ごとに排出許容量を算定する等、一部で総量規制が導入されるケースがありますが、これは濃度の基準だけでは環境基準の確保が困難な地域のための追加的な措置です。
- クリアランスは、追加的な措置が必要なレベルと比べるときわめて低いレベル（法令に定める個人線量限度（年間 1mSv ）と比較して極めて低いレベル（年間 0.01mSv ））で設定されていることから、総量規制のような追加的な措置は不要と考えられています。
- なお、クリアランスでは一般的な加工や使用などを考慮し、一部濃縮されることがあっても人体への影響上は問題ないことがIAEAや原子力安全委員会等で評価された上で法令が制定されています。

【参考】濃度規制と総量規制

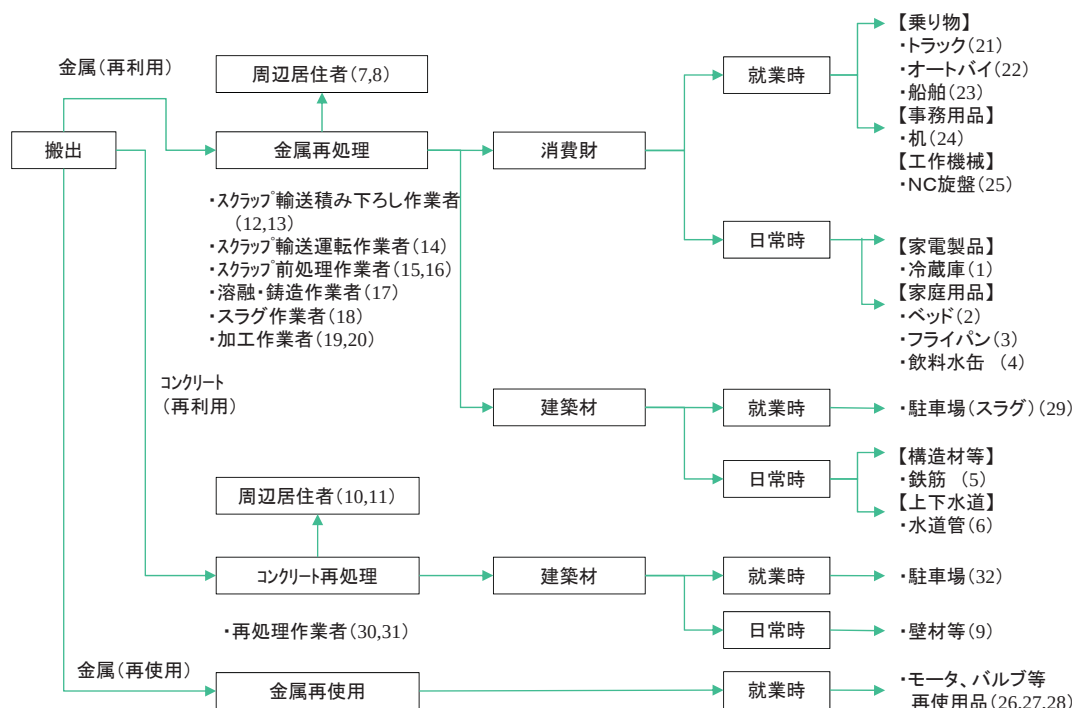
4



電気事業連合会

【参考】クリアランスレベル設定のための評価経路

5



（注）：（ ）内は評価経路No.を示す

出典：主な原子力施設におけるクリアランスレベルについて（原子力安全委員会、平成11年3月17日）より作成

クリアランス物の再利用先（処分先）に様々なケースを想定し、被ばく線量を試算。

電気事業連合会

- ・**現実の生活環境を想定**（野菜をどれだけ食べるか、産業廃棄物の処分場規模はどれくらいか、製鉄工場で取り扱う量はどれくらいか、など）
- ・例えば、製鉄工場で取り扱っている金属スクラップをクリアランス金属に置き換えたとして、**年間10 μ Svを超えないようにするため放射能の濃度（Bq/g）で制限**
- ・なお、**年間10 μ Svという値は、他の施設や複数の経路からの影響の重ね合わせも考慮して十分な余裕を考慮したものであり、個人線量限度である年間1mSvを十分下回っているため、影響があるものではありません。**

<スクラップ作業場（溶融）における被ばく線量の評価の例>

- ①外部被ばく（積み下ろし作業員）
- ・クリアランス金属と一般の金属を7:3の割合で運搬
 - ・線源は大型トラック1台分の金属スクラップ=25ton
 - ・線源からの距離=4m
 - ・年間の作業時間=1000時間

- ②③スクラップ作業場からの排気（ダスト）
- ・クリアランス金属と一般の金属を1:9の割合で溶融
 - ・溶融に伴いダストに200倍濃縮する
 - ・工場の排気に含まれるダスト濃度は工場規模によらず、環境基準の濃度と同じ=0.0001g/m³

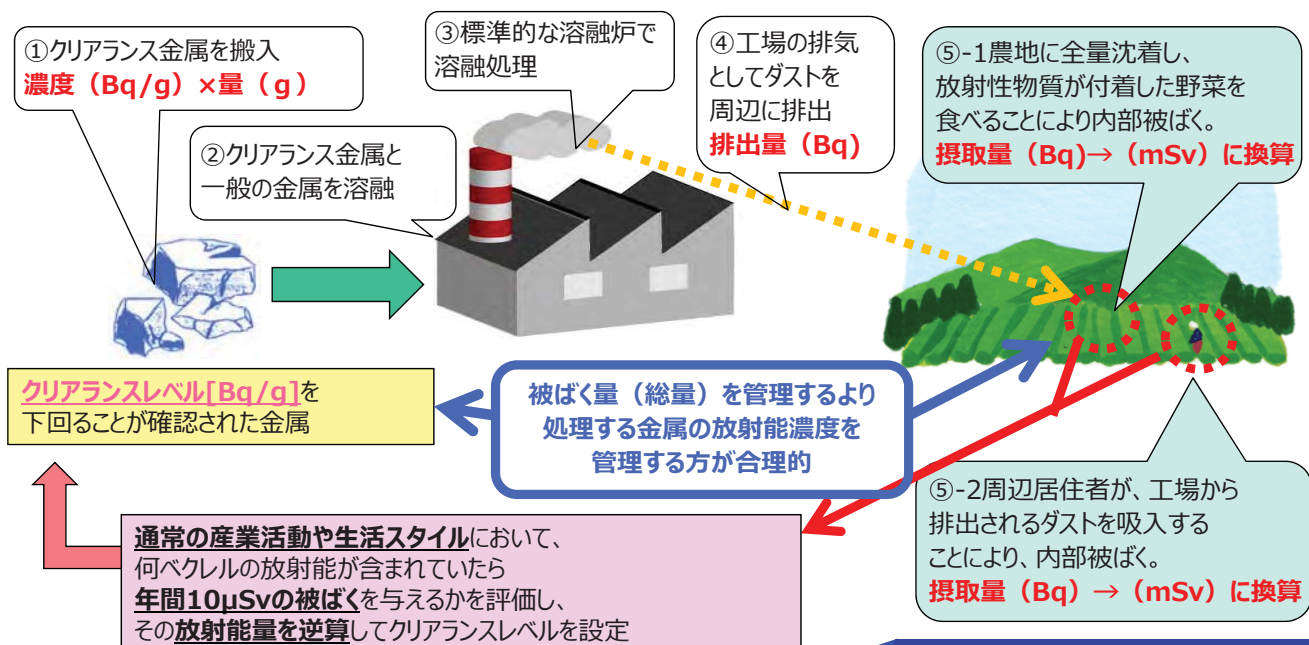
- ②内部被ばく（呼吸）
- ・呼吸量は標準人と設定=0.96m³/h
 - ・年間居住時間=6000時間

- ③内部被ばく（食べ物）
- ・空気中のダストがすべて農作物に沈着すると想定
 - ・摂取量:年間12kgの野菜
 - ・調理前の洗浄は考慮せず



放射能は濃度ではなく、総量で規制すべき？

- クリアランスの基準は、**クリアランス物中の放射能濃度（Bq/g）**から、通常の産業活動や生活スタイルの中で**使用される量（g）**をもとに、**人へ影響する放射エネルギー（Bq）**を計算し、その**放射エネルギー（Bq）**から**人の健康への影響として被ばく量（mSv）**を評価しています。
- クリアランス物中の放射能濃度（Bq/g）に応じて、人の被ばく量（mSv）が決まりますので、再利用できるかどうかは、再利用しようとするものの**放射能濃度（Bq/g）**で判断します。



株式会社日本製鋼所
室蘭製作所
鋳鍛製品部 御中

分析結果報告

クリアランス分析

平成 29 年 2 月

株式会社 **コベルコ** 科研
機械・プロセスソリューション事業部
プロセス技術部 化学分析室

〒651-2271 神戸市西区高塚台 1-5-5
TEL:078-992-6278
FAX:078-992-6389

承認	審査	作成
		

1 件名

クリアランス分析

2 作業内容

クリアランスレベル以下の金属廃棄物の再利用の検討にあたって、金属試料中の Co-60, Cs-134, Cs-137, Mn-54 等の放射能濃度をゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメリーで分析した。試料は、金属ブロックを切削処理して得られた切粉を対象とした。

3 準拠する法令および参考図書

経済産業省令第百十二号:「製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則」(平成十七年十一月二十二日)

文部科学省:「放射能測定法シリーズ 7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメリー」(1992)。

日本アイソトープ協会:「アイソトープ手帳 11 版 机上版」, 丸善出版(2011)。

鶴田隆雄編:「初級放射線(第8版)」, 通商産業研究社(2012)。

4 ゲルマニウム半導体検出器による測定原理

試料から放出されるガンマ線はゲルマニウム半導体中で各種相互作用(光電効果、コンプトン散乱、電子対生成等)を繰り返し、ガンマ線のエネルギーに応じた位置でゲルマニウム原子を電離して電子-ホール対を生成する。ゲルマニウム半導体に高電圧(～数千ボルト)をかけておくことで、生成した電子とホールがそれぞれ正極、負極に移動して電氣的に検出される。あらかじめ標準試料を用いて検出された位置(検出器チャンネル)と電気量を校正しておけば、核種分析と放射能(単位:Bq)、放射能濃度(単位:Bq/g 等)分析ができる。試料からいったん放出されたガンマ線は、試料の材質、形状に応じて試料自身に自己吸収されるため、材質、密度、充填高さで放射能濃度を補正する。

5 測定装置

測定に用いた装置は、①装置周囲からのバックグラウンド放射能を遮蔽する遮蔽体、②ゲルマニウム半導体検出器(冷却するための液体窒素クライオスタット含む)、③半導体検出器の電荷を収集する多重波高分析器(MCA)、④データ処理を行うパソコンから構成される(写真 1)。

① 遮蔽体(キャンベラ社製 777B)

遮蔽材 : 極低バックグラウンド(Pb-210<25 Bq/kg)
遮蔽体厚 : 15 cm

② ゲルマニウム半導体検出器(キャンベラ社製 GC-5019-7915-30ULB-2002CSL)

検出器形式 : 高純度同軸型ゲルマニウム
エネルギー範囲 : 50 keV～10 MeV
相対効率 : >50 %
エネルギー分解能 : <1.9 keV(at 1332 keV)
クライオスタット : 極低バックグラウンドタイプ

③ 多重波高分析器:MCA(キャンベラ社製 DSA-1000)

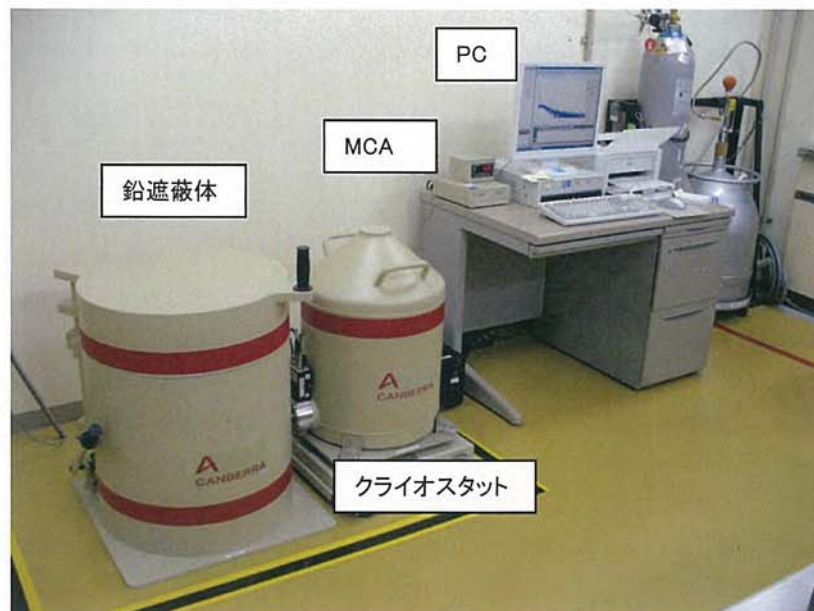


写真 1 測定装置全景

6 測定方法及び条件

6.1 試料

(1) 種類及び数量

金属ブロック:計 10 検体

平成 28 年 12 月 8 日受領:D478-1, D478-3, D478-4, D478-5

平成 29 年 1 月 17 日受領:D478-1 X, D478 M, D478-2 P, D478-2 Q, D478-2 R,
D478-2 S

(2) 試料外観および表面線量率

受領試料の外観を写真 2, 3 に示す。

各試料の表面線量率は $< 0.1 \mu\text{Sv/h}$ であった。測定結果は添付資料 1 にまとめた。



試料:D478-1



試料:D478-3



試料:D478-4



試料:D478-5

写真 2 平成 28 年 12 月 8 日受領試料の外観



試料:D478-1 X



試料:D478 M



試料:D478-2 P



試料:D478-2 Q



試料:D478-2 R



試料:D478-2 S

写真 3 平成 29 年 1 月 17 日受領試料の外観

6.2 測定試料作製

ブロック状態の試料をマシニングセンタで切削して、得られた切粉を市販 U-8 規格の樹脂容器(以下、U-8 容器と略、内径:56 mm×高さ:68 mm)に充填して測定試料とした。

測定試料と切削後の残材を写真 4, 5 に示す。



試料:D478-1



試料:D478-3



試料:D478-4



試料:D478-5

写真 4 測定に供した平成 28 年 12 月 8 日受領試料と残材



試料:D478-1 X



試料:D478 M



試料:D478-2 P



試料:D478-2 Q



試料:D478-2 R



試料:D478-2 S

写真 5 測定に供した平成 29 年 1 月 17 日受領試料と残材

6.3 測定

切粉試料を充填した U-8 容器を、遮蔽体内部のゲルマニウム半導体検出器上に設置して測定を行った(写真 6)。このとき U-8 容器表面に付着した放射性物質による検出器の汚染を防ぐため、ポリ袋に U-8 容器を封入した。

測定は Co-60, Cs-134, Cs-137, Mn-54 に注目し、検出できない場合はクリアランスレベル(0.1 Bq/g)以下の検出限界が得られるよう測定時間を 1 万秒に設定した。

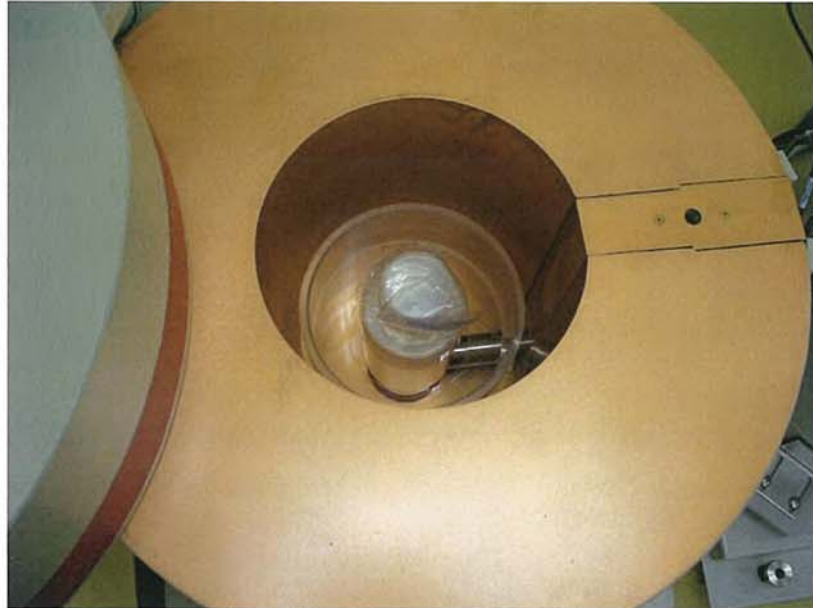


写真 6 遮蔽体中での試料設置の様子

6.4 解析

解析はキャンベラ社製の解析プログラム:ガンマ線エクスペローラを用い、U-8 容器に充填した試料の重量、充填高さ、充填密度等を入力して各核種の放射能濃度、検出限界を算出した。この放射能濃度の値は測定時の値として、半減期を用いた減衰補正は行わなかった。

また、放射能濃度は比放射能(表 1)を用いて放射性核種濃度に換算した。比放射能: $A[\text{Bq/g}]$ は、半減期(秒単位): $T_{1/2} [\text{sec}]$ 、質量数: $m[\text{g/mol}]$ 、アボガドロ定数: $N_A[\text{mol}^{-1}]$ を用いて下式で算出される。

$$A = \ln 2 \times \frac{N_A}{T_{1/2} \times m}$$

表 1 各核種の半減期、比放射能

核種	半減期	比放射能[kBq/g]
Mn-54	312.03 日	2.87×10^{11}
Co-60	5.2713 年	4.18×10^{10}
Cs-134	2.0648 年	4.78×10^{10}
Cs-137	30.1671 年	3.21×10^9

6.5 精度管理

測定装置のエネルギーとピーク効率の校正を年 1 回で実施し、月毎に標準試料(IAEA-445)を測定して精度管理を行った。また、測定日毎に検出器のエネルギーチェックを行った。

① エネルギー校正

U-8 容器に 9 核種(Cd-109, Co-57, Ce-139, Cr-51, Sr-85, Cs-137, Mn-54, Y-88, Co-60)を混合した標準線源(日本アイソトープ協会 MX033U8PP)を測定し、検出器のチャンネルとエネルギーの校正を行った。9 核種混合標準線源のガンマ線スペクトル例を図 1 に、エネルギー校正曲線を図 2 に示す。下式で表されるエネルギー校正曲線で、検出器のチャンネル:ch はエネルギーに換算される。

$$\text{ENE(keV)} = 2.19586\text{E-01} + 5.00616\text{E-01} \times \text{ch} - 1.95908\text{E-7} \times (\text{ch})^2$$

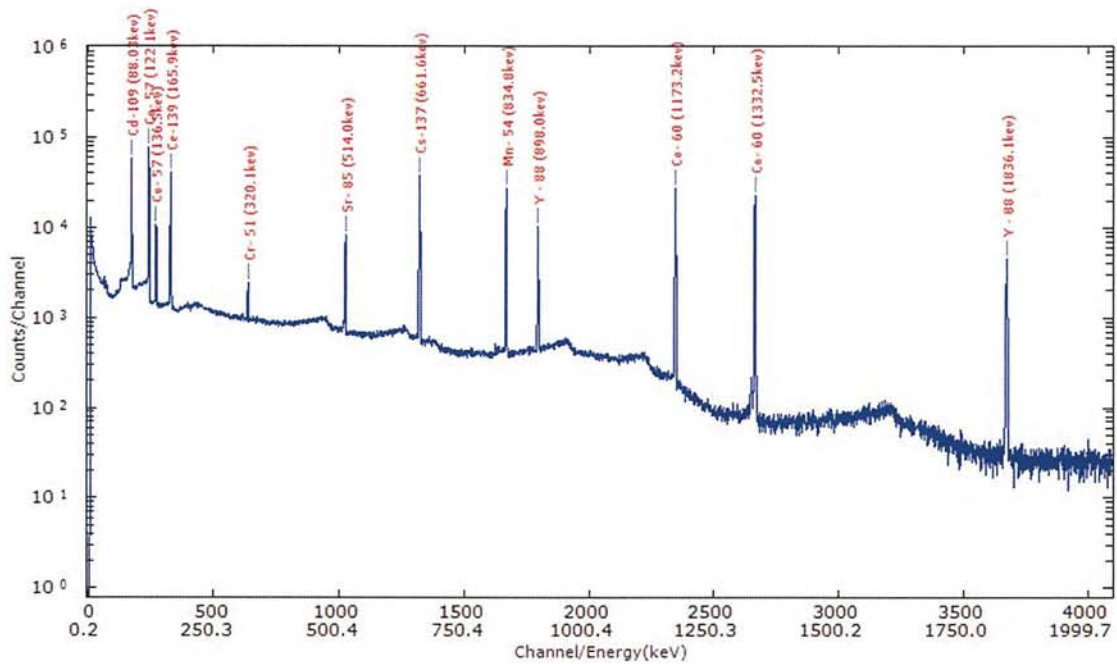


図 1 エネルギー校正のために用いる 9 核種混合標準線源のガンマ線スペクトル例

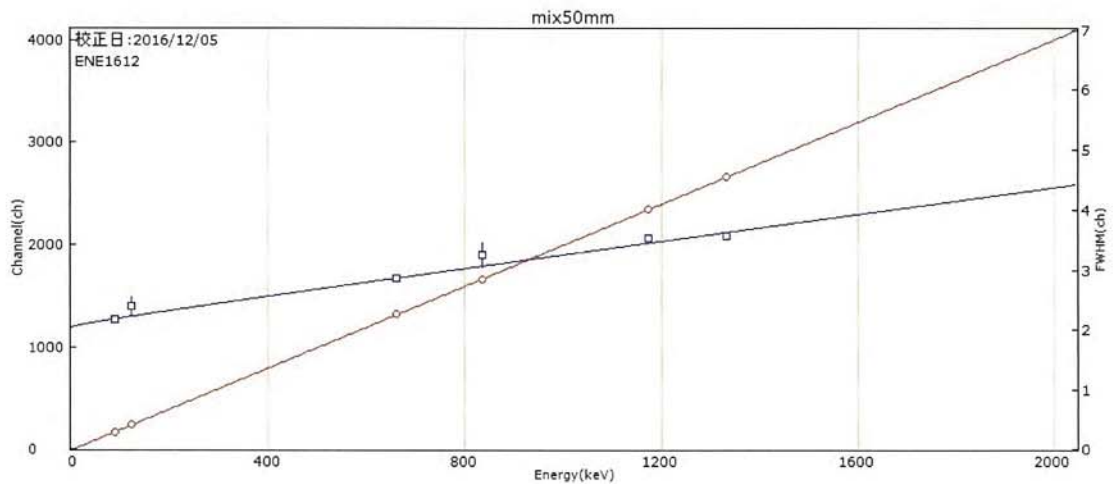


図 2 9 核種混合標準線源を用いたエネルギー校正曲線

② ピーク効率校正

充填高さ:5 水準(5, 10, 20, 30, 50mm)の 9 核種混合標準線源(日本アイソトープ協会 MX033U8PP)の測定を行い、各充填高さでのピーク効率曲線を求め、さらに充填高さで補正するピーク効率校正曲線を求めた(図 3)。Cs-137 (661.7keV)のピーク効率:Eff は U-8 容器への試料充填高さを $h[\text{mm}]$ として下式で補正できる。

$$1/\text{Eff}=1.71257\text{E}+1 + 5.90823\text{E}-01 \times h[\text{mm}] + 6.44130\text{E}-5 \times (h[\text{mm}])^2$$

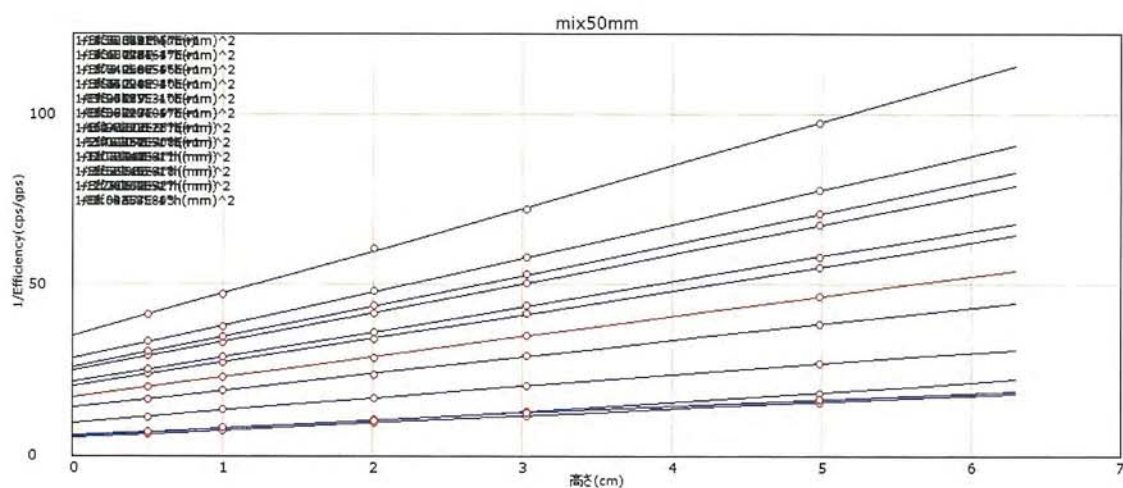


図 3 U-8 容器測定での各ピーク効率校正曲線

③ 精度チェック

毎月、標準試料:IAEA-445 の Cs-137、Co-60、Am-241 濃度の値をチェックした。
IAEA-445 の Co-60, Cs-137, Am-241 濃度の認証値を表 2 にまとめた。

表 2 精度管理に用いる IAEA-445 の認証値(基準日:2007 年 10 月 15 日)

核種	半減期	認証値[Bq/kg]
Co-60	5.2713 年	7.52
Cs-137	30.1671 年	8.12
Am-241	432.2 年	7.11

④ 日常のエネルギーチェック

各測定日ごとに Co-60 チェック線源(日本アイソトープ協会製放射能標準ガンマ線源 CO401)を用い、1333keV のピークを所定のチャンネルに調整した。

7 分析結果

各試料の放射能分析結果を表 3 にまとめた。測定データを添付資料 2 にまとめた。

各試料とも、注目した Co-60, Cs-134, Cs-137, Mn-54 はクリアランスレベル (0.1 Bq/g) 未満であった。その他、試料 478-2 Q では、天然の放射性核種である Bi-214 が検出された。

比放射能(表 1)を用いて換算した各核種濃度を表 4 にまとめた。

以上

表 3 各試料の放射能分析結果(単位:Bq/g)

試料名	対象核種	Mn-54	Co-60	Cs-134	Cs-137	その他検出核種
D478-1		ND (<0.004)	ND (<0.005)	ND (<0.005)	ND (<0.004)	
D478-3		ND (<0.004)	ND (<0.005)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	
D478-4		ND (<0.004)	ND (<0.005)	ND (<0.004)	ND (<0.005)	
D478-5		ND (<0.003)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	
D478-1 X		ND (<0.003)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.003)	
D478 M		ND (<0.003)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.003)	
D478-2 P		ND (<0.004)	ND (<0.005)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	
D478-2 Q		ND (<0.003)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	Bi-214:0.007±0.002
D478-2 R		ND (<0.003)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	
D478-2 S		ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.003)	

ND は不検出を示す。()内の数値は検出限界濃度を示す。

表 4 各試料の放射性核種濃度 (単位: g/g)

試料名	対象核種	Mn-54	Co-60	Cs-134	Cs-137	その他検出核種
D478-1		< 1E-17	< 1E-16	< 1E-16	< 1E-15	
D478-3		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 1E-15	
D478-4		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 2E-15	
D478-5		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 1E-15	
D478-1 X		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 9E-16	
D478 M		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 9E-16	
D478-2 P		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 1E-15	
D478-2 Q		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 1E-15	Bi-214: 2E-13 ± 5 E-14
D478-2 R		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 1E-15	
D478-2 S		< 1E-17	< 1E-16	< 8E-17	< 9E-16	

Bi-214 の比放射能: 3.9×10^7 Bq/g

添付資料1

金属試料(ブロック)の表面線量測定結果

表面線量 測定記録

件名 : クリアランス分析(AT168007)
 日時 : 2016 年 12 月 8 日
 測定機器 : 日立アロカメディカル製シンチレーションサーベイメータ TCS-172B
 測定場所 : 株式会社日本製鋼所 室蘭製作所 殿
 測定担当者 : 株式会社コベルコ科研 機械・プロセスソリューション事業部
 プロセス技術部 化学分析室 栗本

バックグラウンド測定	:	0.02~0.05	μSV/時
------------	---	-----------	-------

試料	測定場所 測定位置	読取值	表面線量	備考
D478-1	表(刻字面)	0.04	<0.1	
D478-1	裏	0.03	<0.1	
D478-3	表(刻字面)	0.04	<0.1	
D478-3	裏	0.03	<0.1	
D478-4	表(刻字面)	0.04	<0.1	
D478-4	裏	0.04	<0.1	
D478-5	表(刻字面)	0.03	<0.1	
D478-5	裏	0.04	<0.1	
— —	— —	単位: μSV/時	単位: μSV/時	— —

表面線量 測定記録

件名 : クリアランス分析(AT168007)
 日時 : 2017 年 1 月 17 日
 測定機器 : 日立アロカメディカル製シンチレーションサーベイメータ TCS-172B
 測定場所 : 株式会社日本製鋼所 室蘭製作所 殿
 測定担当者 : 株式会社コベルコ科研 機械・プロセスソリューション事業部
 プロセス技術部 化学分析室 栗本

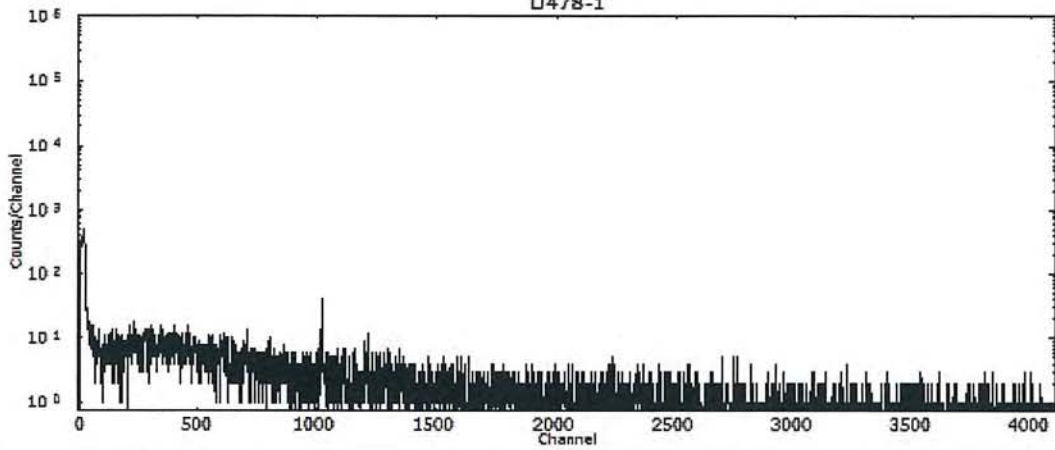
バックグラウンド測定	:	0.03~0.05	μSV/時
------------	---	-----------	-------

試料	測定場所 測定位置	読取值	表面線量	備考
D478-1 X	表(刻字面)	0.04	<0.1	
D478-1 X	裏	0.03	<0.1	
D478 M	表(刻字面)	0.04	<0.1	
D478 M	裏	0.03	<0.1	
D478-2 P	表(刻字面)	0.03	<0.1	
D478-2 P	裏	0.03	<0.1	
D478-2 Q	表(刻字面)	0.03	<0.1	
D478-2 Q	裏	0.04	<0.1	
D478-2 R	表(刻字面)	0.03	<0.1	
D478-2 R	裏	0.04	<0.1	
D478-2 S	表(刻字面)	0.02	<0.1	
D478-2 S	裏	0.03	<0.1	
— —	— —	単位: μSV/時	単位: μSV/時	— —

添付資料2

金属試料(切粉)の放射能測定帳票

試料:D478-2 Q については人工核種(Co-60, Cs-134, Cs-137, Mn-54 等)の解析結果に加えて、天然核種(Bi-214)の解析結果を添付した。

γ線核種分析結果				D478-1
スペクトル				
測定コード	測定コード	D478-1	試料コード	D478-1
試料情報	試料区分 試料種類 採取開始 採取終了 試料容器 供試料量 回収率 充填高さ 密度	その他 - 2016年10月20日 10時00分 2016年10月20日 10時00分 U-8容器 3.47E+01 g 100.00 % 4.60 cm 0.426 g/cm3	地域 地点 緯度・経度 試料コメント 目的 部位 母材 元素組成式 AMP比	- - D478-1 その他 元素組成式を使用 Fe 0.00 %
測定情報	検出器番号 測定開始 測定時間	No. 1 2016年12月27日 14時18分 LT 10000 秒 RT 10003 秒	測定位置 測定者 測定コメント	密着 コベルコ科研 D478-1
付加情報				
分析条件	核データ BG補正 BG1:BG1612	環境分析用核データ する(結果利用) BG2:	減衰補正 エネルギー校正 効率校正	補正無し ENE1612 EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		6.3442E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.6540E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		2.2430E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		4.7298E-03	N
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.5667E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		6.1529E-03	N
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.5490E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.8382E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		1.0319E-02	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		3.0278E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		3.4254E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		2.4683E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.2112E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		4.0314E-03	N
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		3.3959E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.9742E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		3.6454E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		9.6266E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.7210E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		7.0120E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.6416E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		3.1628E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		3.2424E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		6.2826E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		9.0020E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		5.2077E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		4.9261E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.1910E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		4.5146E-03	

D478-1

マークについて

A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外

積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理

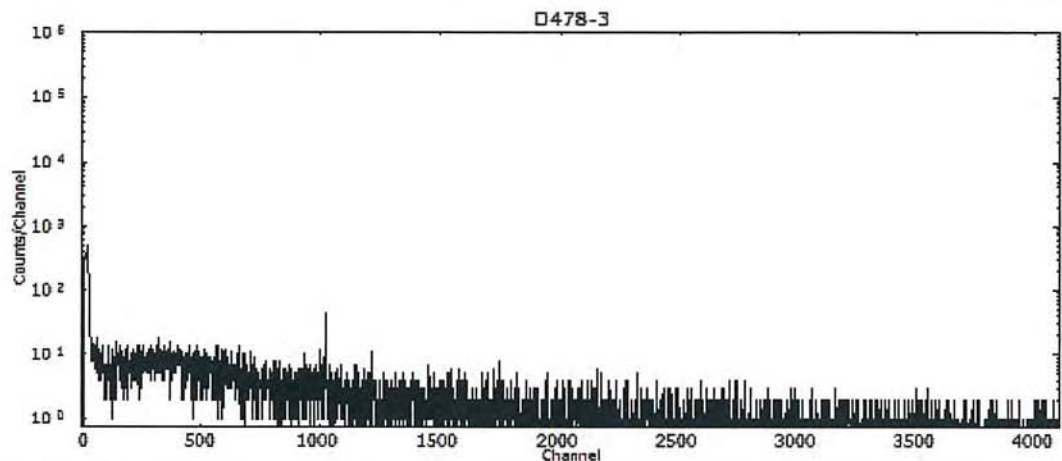
減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

1 / 1

γ線核種分析結果

D478-3

スペクトル

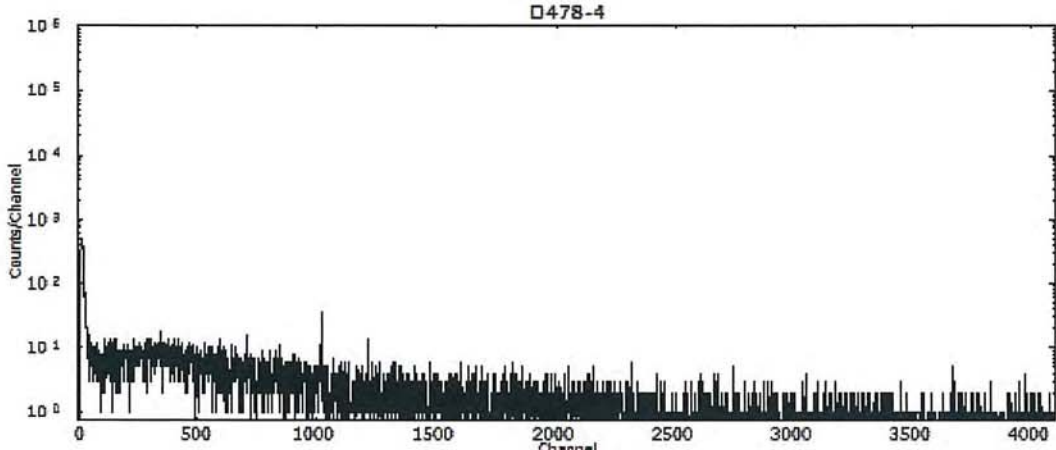


測定コード	測定コード	D478-3	試料コード	D478-3
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2016年10月20日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2016年10月20日 10時00分	試料コメント	D478-1
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.48E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	4.30 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.456 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2016年12月27日 17時55分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10003 秒	測定コメント	D478-3
付加情報				
分析条件	核データ	環境分析用核データ	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		6.5125E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.6144E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		2.1403E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		4.2418E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.5991E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		5.6893E-03	N
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.4718E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		3.0012E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		9.4907E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.4858E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		3.3872E-03	N
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		2.0515E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.2243E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.8959E-03	N
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.9152E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.2451E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		3.1521E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		7.3272E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.8265E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		6.2296E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.6041E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		3.3642E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		3.3241E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		6.8051E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.9053E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.4954E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		4.5022E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.7777E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		4.3255E-03	

D478-3

マークについて A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外
 積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理
 減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果				D478-4	
スペクトル	0478-4 				
測定コード*	測定コード*	D478-4		試料コード*	D478-4
試料情報	試料区分 試料種類 採取開始 採取終了 試料容器 供試料量 回収率 充填高さ 密度	その他 - 2016年10月20日 10時00分 2016年10月20日 10時00分 U-8容器 3.48E+01 g 100.00 % 4.70 cm 0.418 g/cm3		地域 地点 緯度・経度 試料コメント 目的 部位 母材 元素組成式 AMP比	- - D478-4 その他 元素組成式を使用 Fe 0.00 %
測定情報	検出器番号 測定開始 測定時間	No. 1 2016年12月28日 10時07分 LT 10000 秒 RT 10003 秒		測定位置 測定者 測定コメント	密着 コベルコ科研 D478-4
付加情報					
分析条件	核データ BG補正 BG1:BG1612	環境分析用核データ する(結果利用) BG2:		減衰補正 エネルギー校正 効率校正	補正無し ENE1612 EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		6.4641E-03	N
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.6706E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		2.1798E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.9383E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.2398E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		5.5788E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.5973E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		3.4453E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		9.2686E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.7883E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		3.5019E-03	N
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.9655E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.2080E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.5198E-03	
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		3.7119E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		4.1964E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		3.2660E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		9.5887E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.7038E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		5.9868E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.2337E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		3.6151E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		3.7150E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		5.9837E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.4133E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.6727E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		4.3249E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		4.1191E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.9573E-03	

D478-4

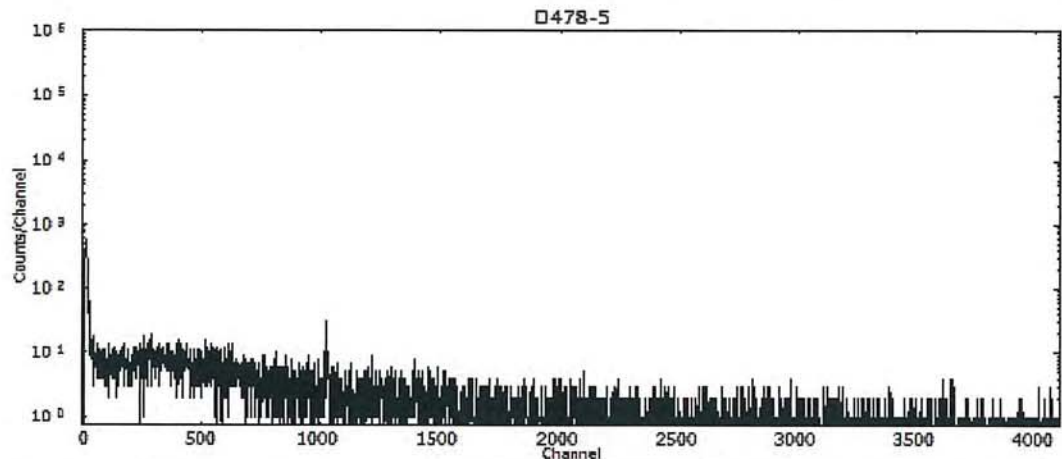
マークについて

A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外
 積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理
 減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果

D478-5

スペクトル



測定コード	測定コード	D478-5	試料コード	D478-5
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2016年10月20日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2016年10月20日 10時00分	試料コメント	D478-4
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.56E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	3.90 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.516 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2016年12月28日 13時08分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10003 秒	測定コメント	D478-5
付加情報				
分析条件	核データ	環境分析用核データ	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

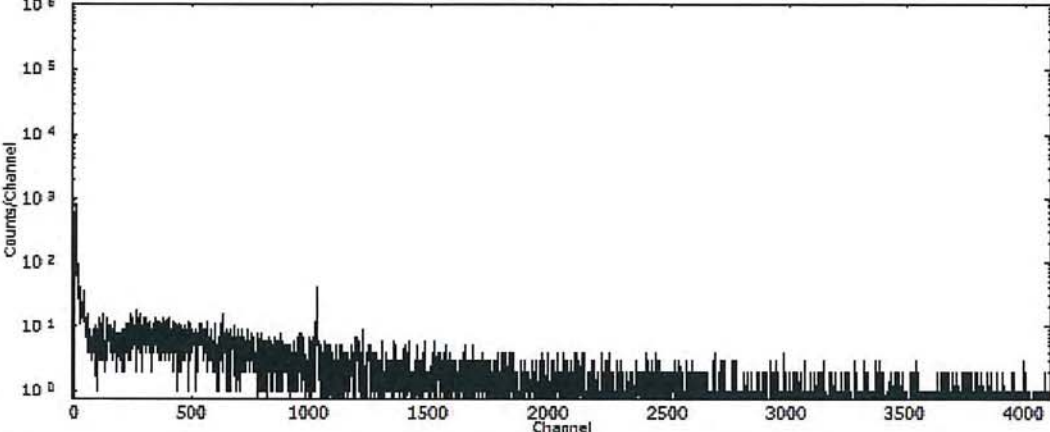
No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		6.3701E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.5576E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		1.8956E-03	N
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.5667E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.2805E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		5.9028E-03	N
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.1958E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.6884E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		8.6007E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.7227E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.8674E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		2.1644E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.0899E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.7684E-03	N
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		3.0959E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.3599E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.9606E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		7.7147E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.4526E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		5.5565E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.1736E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		3.2964E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		2.6540E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		5.4003E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		7.1487E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.4576E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.9384E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.4825E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.6434E-03	

D478-5

マークについて A: 注意ピーク L: 2σ以上(3σ未満) C: 積算法で計算 X: レンジ外

積算法での複合処理 N: 近接処理 D: 分割処理 S: 寄与差引 E: 同一核種処理 W: 和処理

減衰補正に関する注意 T: 試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果				D478-1 X	
スペクトル	Counts/Channel D478-1 X  Channel				
測定コード*	測定コード	D478-1 X		試料コード	D478-1 X
試料情報	試料区分	その他		地域	-
	試料種類	-		地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分		緯度・経度	
	採取終了	2017年02月03日 10時00分		試料コメント	D478-1 X
	試料容器	U-8容器		目的	その他
	供試料量	3.52E+01 g		部位	
	回収率	100.00 %		母材	元素組成式を使用
	充填高さ	3.40 cm		元素組成式	Fe
	密度	0.584 g/cm3		AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1		測定位置	密着
	測定開始	2017年02月07日 09時12分		測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT	10000 秒	RT	10004 秒
				測定コメント	D478-1 X
付加情報					
分析条件	核データ	環境分析用核データ		減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)		エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:		効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		5.6265E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.5664E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		2.0633E-03	W
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.0792E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.2615E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		8.5120E-03	S
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.1216E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.5006E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		8.3570E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.7410E-02	N
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.6616E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.9821E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.0770E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.4464E-03	N
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.4377E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		2.9927E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.9122E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		7.7704E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.0105E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		5.3116E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.6028E-03	S
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.9275E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		2.9401E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		4.5801E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.5333E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.4570E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.7211E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.4733E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		4.4122E-03	

D478-1 X

マークについて

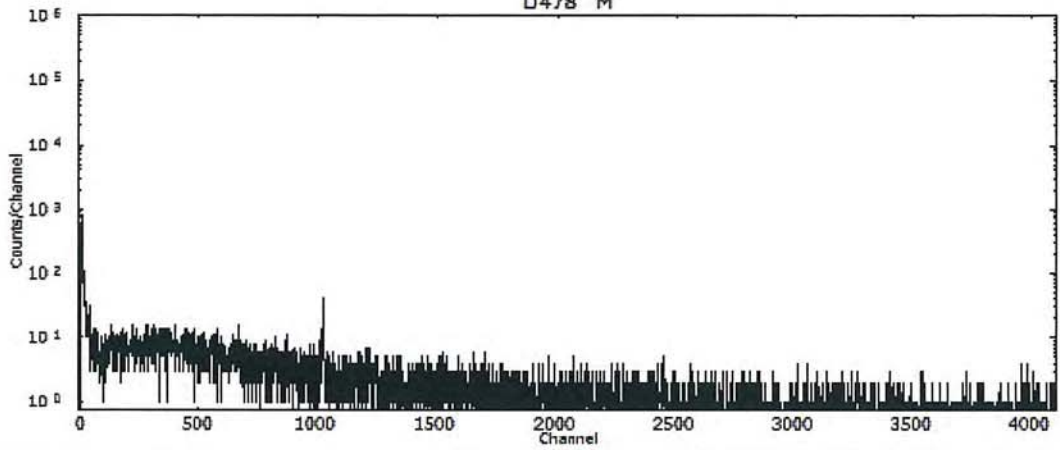
A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外

積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理

減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果

D478 M

スペクトル				
測定コード	測定コード	D478 M	試料コード	D478 M
試料情報	試料区分 試料種類 採取開始 採取終了 試料容器 供試料量 回収率 充填高さ 密度	その他 - 2017年02月03日 10時00分 2017年02月03日 10時00分 U-8容器 3.50E+01 g 100.00 % 2.70 cm 0.732 g/cm3	地域 地点 緯度・経度 試料コメント 目的 部位 母材 元素組成式 AMP比	- - - D478 M その他 - - 元素組成式を使用 Fe 0.00 %
測定情報	検出器番号 測定開始 測定時間	No. 1 2017年02月06日 17時14分 LT 10000 秒 RT 10004 秒	測定位置 測定者 測定コメント	密着 コベルコ科研 D478 M
付加情報				
分析条件	核データ BG補正 BG1:BG1612	環境分析用核データ する(結果利用) BG2:	減衰補正 エネルギー校正 効率校正	補正無し ENE1612 EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		4.8365E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.3292E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		1.6847E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.3131E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		1.9558E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		4.8361E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.0421E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.4458E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		7.7433E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.1560E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.5077E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.7772E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		8.9391E-03	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.4306E-03	
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.4639E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		2.8287E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.4924E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		6.4938E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		1.8415E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		4.4115E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		2.7573E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.7378E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		2.7342E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		4.2553E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		4.7354E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.2913E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.2631E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		2.9175E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.9412E-03	

D478 M

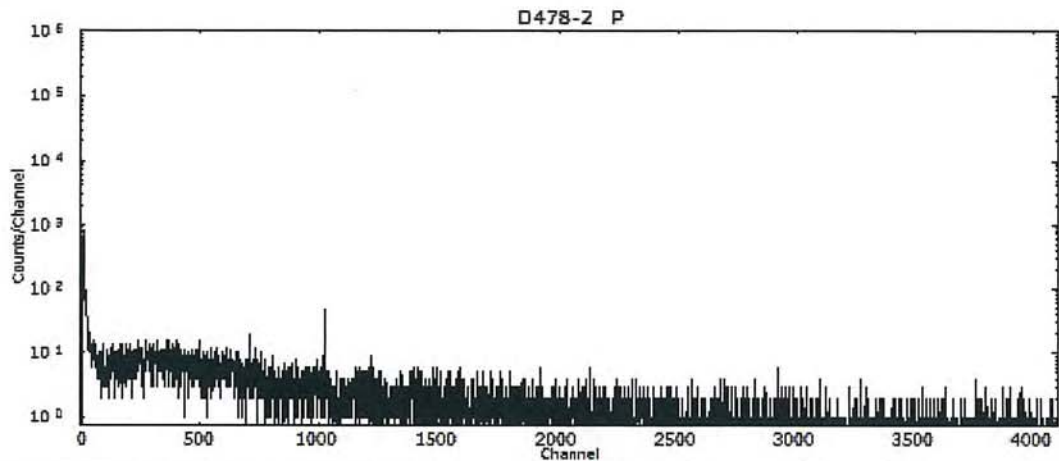
マークについて

A: 注意ピーク L: 2σ以上(3σ未満) C: 積算法で計算 X: レンジ外
 積算法での複合処理 N: 近接処理 D: 分割処理 S: 寄与差引 E: 同一核種処理 W: 和処理
 減衰補正に関する注意 T: 試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果

D478-2 P

スペクトル



測定コード	測定コード	D478-2 P	試料コード	D478-2 P
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2017年02月03日 10時00分	試料コメント	D478-2 P
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.57E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	3.70 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.545 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2017年02月03日 13時49分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10004 秒	測定コメント	D478-2 P
付加情報				
分析条件	核データ	環境分析用核データ	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		6.0033E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.5398E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		2.0592E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.2632E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.3166E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		6.0107E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.2948E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		3.0006E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		7.4693E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.9056E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		3.1418E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.8402E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		9.3713E-03	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.4957E-03	N
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.9212E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.0890E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.9618E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		7.3378E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.2545E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		5.4836E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		4.2707E-03	S
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.8905E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		3.2642E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		5.9562E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.3492E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		4.0692E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		4.2663E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.8836E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.5294E-03	

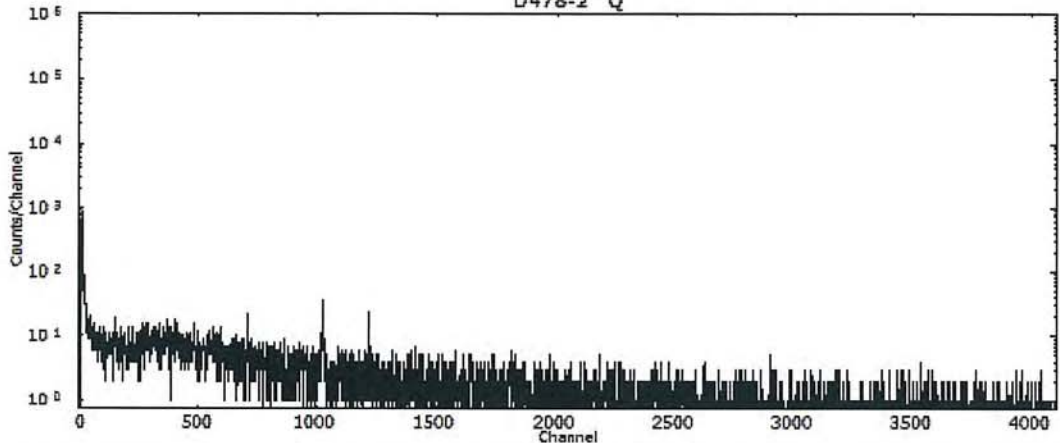
D478-2 P

マークについて

A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外
積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理
減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

γ線核種分析結果

D478-2 Q

スペクトル				
測定コード	測定コード	D478-2 Q	試料コード	D478-2 Q
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2017年02月03日 10時00分	試料コメント	D478-2 Q
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.52E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	2.80 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.708 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2017年02月03日 16時52分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10004 秒	測定コメント	D478-2 Q
付加情報				
分析条件	核データ	環境分析用核データ	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		5.2021E-03	S
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.4707E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		1.8585E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.2778E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		1.9830E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		6.3174E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		1.9303E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.5750E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		7.8501E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.2722E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.6863E-03	N
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.7272E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		8.9341E-03	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.0485E-03	
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.4600E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.1401E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.4857E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		7.3913E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		1.9457E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		5.0682E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		3.3070E-03	S
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.7741E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		2.5615E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		5.7865E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.6655E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		2.8068E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.3024E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.3227E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.5192E-03	

D478-2 Q

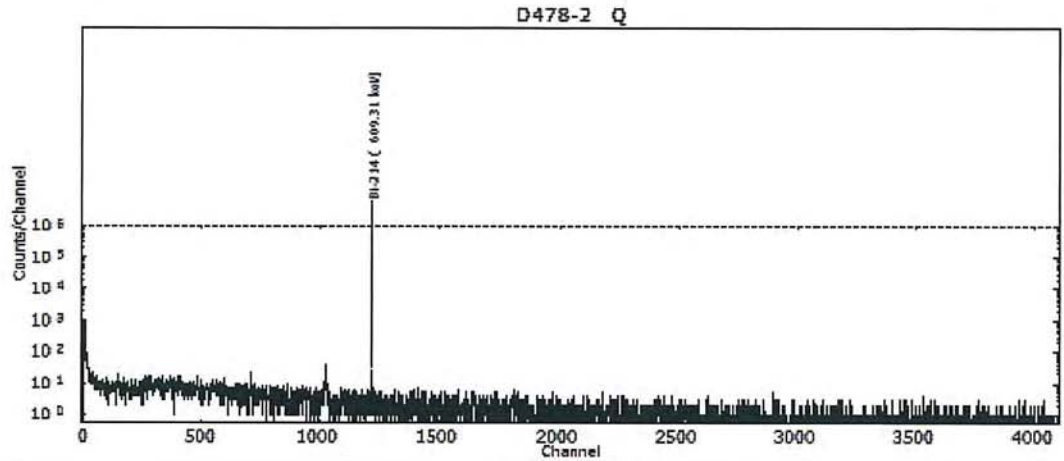
マークについて

A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外

積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理

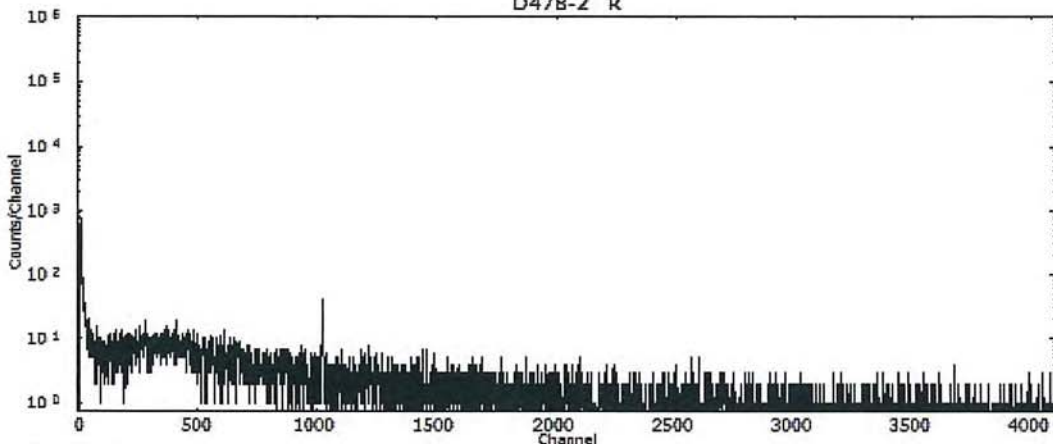
減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

スペクトル



測定コード	測定コード	D478-2 Q	試料コード	D478-2 Q
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2017年02月03日 10時00分	試料コメント	D478-2 Q
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.52E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	2.80 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.708 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2017年02月03日 16時52分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10004 秒	測定コメント	D478-2 Q
付加情報				
分析条件	核データ	食品主要+天然	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Pb-210	46.50	1.60E+03 Y	N D		2.1326E-01	
2	Th-228	84.37	1.41E+10 Y	N D		1.5732E-01	N
3	Th-234	92.80	4.47E+09 Y	N D		3.5371E-02	N
4	Ra-226	186.18	1.60E+03 Y	N D		4.3677E-02	
5	Pb-212	238.63	1.41E+10 Y	N D		4.1087E-03	
6	Ra-224	240.98	1.41E+10 Y	N D		5.7064E-02	S
7	Pb-214	351.99	1.60E+03 Y	LTD		5.8966E-03	L
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.5750E-03	
9	Tl-208	583.14	1.41E+10 Y	N D		7.3206E-03	
10	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.0485E-03	N
11	Bi-214	609.31	1.60E+03 Y	6.8573E-03 ± 2.1798E-03	6.8573E-03 ± 2.1798E-03	6.4865E-03	C
12	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.1401E-03	
13	Bi-212	727.27	1.41E+10 Y	N D		3.9943E-02	
14	Tl-206	803.30	1.60E+03 Y	N D		5.1937E+01	
15	Ac-228	911.20	1.41E+10 Y	N D		1.1111E-02	
16	Pa-234m	1001.03	4.47E+09 Y	N D		4.5544E-01	
17	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		3.3227E-02	

γ線核種分析結果				D478-2 R	
スペクトル	D478-2 R 				
測定コード	測定コード	D478-2 R		試料コード	D478-2 R
試料情報	試料区分	その他		地域	-
	試料種類	-		地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分		緯度・経度	
	採取終了	2017年02月03日 10時00分		試料コメント	D478-2 R
	試料容器	U-8容器		目的	その他
	供試料量	3.53E+01	g	部位	
	回収率	100.00	%	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	3.30	cm	元素組成式	Fe
	密度	0.603	g/cm3	AMP比	0.00 %
	測定情報	検出器番号	No. 1		測定位置
測定開始		2017年02月06日 09時39分		測定者	コベルコ科研
測定時間		LT 10000 秒	RT 10003 秒	測定コメント	D478-2 R
付加情報					
分析条件	核データ	環境分析用核データ		減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)		エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:		効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		5.9627E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.5010E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		1.7996E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.6519E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.3138E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		5.5356E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		2.1531E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.5423E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		8.5675E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		1.8913E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.7144E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.9204E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.0063E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.7057E-03	
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.8186E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		3.2511E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.4988E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		6.8417E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.2994E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		4.9343E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		2.7217E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.8761E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		2.9980E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		5.4035E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		6.5842E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.7365E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.9795E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		2.8602E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.1774E-03	

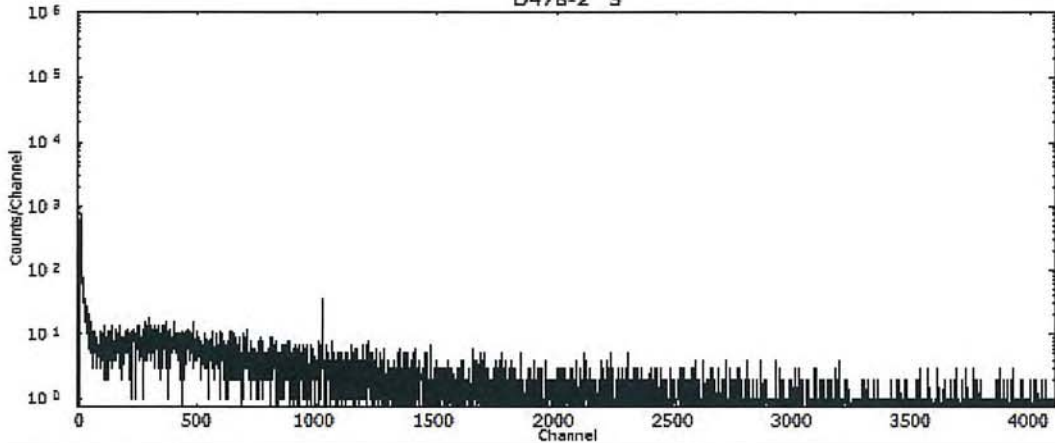
D478-2 R

マークについて

A:注意ピーク L:2σ以上(3σ未満) C:積算法で計算 X:レンジ外

積算法での複合処理 N:近接処理 D:分割処理 S:寄与差引 E:同一核種処理 W:和処理

減衰補正に関する注意 T:試料保存期間が半減期×64を超えた為、試料保存中の減衰補正をOFF

スペクトル				
測定コード	測定コード	D478-2 S	試料コード	D478-2 S
試料情報	試料区分	その他	地域	-
	試料種類	-	地点	-
	採取開始	2017年02月03日 10時00分	緯度・経度	-
	採取終了	2017年02月03日 10時00分	試料コメント	D478-2 S
	試料容器	U-8容器	目的	その他
	供試料量	3.51E+01 g	部位	-
	回収率	100.00 %	母材	元素組成式を使用
	充填高さ	2.90 cm	元素組成式	Fe
	密度	0.684 g/cm3	AMP比	0.00 %
測定情報	検出器番号	No. 1	測定位置	密着
	測定開始	2017年02月06日 14時19分	測定者	コベルコ科研
	測定時間	LT 10000 秒 RT 10003 秒	測定コメント	D478-2 S
付加情報				
分析条件	核データ	環境分析用核データ	減衰補正	補正無し
	BG補正	する(結果利用)	エネルギー校正	ENE1612
	BG1:BG1612	BG2:	効率校正	EFE1612

No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射能濃度 (Bq/g)	荷重平均放射能濃度 (Bq/g)	検出限界値 (Bq/g)	マーク
1	Np-239	106.14	2.35E+00 D	N D		5.5746E-03	
2	Ce-144	133.54	2.85E+02 D	N D		1.3229E-02	
3	Tc- 99m	140.51	6.01E+00 H	N D		1.7646E-03	
4	Ce-141	145.44	3.26E+01 D	N D		3.3159E-03	
5	Te-132	228.16	7.82E+01 H	N D		2.0039E-03	
6	Ce-143	293.26	3.30E+01 H	N D		4.8290E-03	
7	Cr- 51	320.08	2.77E+01 D	N D		1.7897E-02	
8	I -131	364.48	8.04E+00 D	N D		2.5223E-03	
9	Sb-125	427.95	2.71E+00 Y	N D		6.4891E-03	
10	Be- 7	477.59	5.33E+01 D	N D		2.3114E-02	
11	Ru-103	497.08	3.94E+01 D	N D		2.6163E-03	
12	Nd-147	531.01	1.10E+01 D	N D		1.7827E-02	
13	Ba-140	537.27	1.28E+01 D	N D		1.0529E-02	
14	Cs-134	604.66	2.06E+00 Y	N D		3.7176E-03	
15	Ru-106	622.20	3.67E+02 D	N D		2.7246E-02	
16	Cs-137	661.64	3.02E+01 Y	N D		2.6592E-03	
17	I -132	667.69	2.28E+00 H	N D		2.2567E-03	
18	Sb-127	685.70	3.91E+00 D	N D		6.9448E-03	
19	Mo- 99	739.40	6.60E+01 H	N D		2.1285E-02	
20	Zr- 95	756.72	6.40E+01 D	N D		4.3576E-03	
21	Nb- 95	765.79	3.50E+01 D	N D		2.4574E-03	
22	Co- 58	810.76	7.08E+01 D	N D		2.5369E-03	
23	Mn- 54	834.83	3.12E+02 D	N D		3.0163E-03	
24	Fe- 59	1099.22	4.46E+01 D	N D		4.9551E-03	
25	Zn- 65	1115.52	2.44E+02 D	N D		5.5163E-03	
26	Co- 60	1173.21	5.27E+00 Y	N D		3.1318E-03	
27	Co- 60	1332.47	5.27E+00 Y	N D		3.7671E-03	
28	K - 40	1460.75	1.28E+09 Y	N D		2.8012E-02	
29	La-140	1596.49	4.03E+01 H	N D		3.5819E-03	