

福島第二原子力発電所 2号炉 高経年化技術評価
(差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・
ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れ)

補足説明資料

平成 30 年 12 月 19 日

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	3
3.1 評価対象	3
3.2 評価手法	3
4. 技術評価	3
4.1 健全性評価	3
4.2 現状保全	4
4.3 総合評価	4
4.4 高経年化への対応	4
5. まとめ	4
5.1 審査ガイド適合性	4
5.2 保守管理に関する方針として策定する事項	4

別紙

- 別紙 1. 評価の見直しを行った経緯
- 別紙 2. 差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの
粒界型応力腐食割れに対する技術評価の手順
- 別紙 3. 福島第二原子力発電所 2 号炉における残留応力解析結果
- 別紙 4. 【参考】 残留応力解析結果の傾向確認

添付資料

- 電力共同研究「実機構造部材の SCC 評価研究」（平成 19 年度報告書）【要約版】

1. 概要

本資料は、平成26年1月22日に保安規定の変更認可を受けている福島第二原子力発電所2号炉の長期保守管理方針（差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れ）の変更について、補足説明するものである。

長期保守管理方針に記載の差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの劣化評価については、電力共同研究「実機構造部材のSCC評価研究」【添付資料参照】の成果により、粒界型応力腐食割れの発生の可能性が顕在化する以前に評価によって、当該評価部位の健全性を評価することが可能であることが確認できた。

このため、福島第二原子力発電所2号炉の後続となる福島第二原子力発電所3号炉以降の高経年化技術評価では、電力共同研究の成果を用いて当該評価部位の健全性を確認している。

これらの状況を勘案し、運転開始後30年以降のプラントの安定停止の維持に関する設備の健全性を確認するため、最新の高経年化技術評価の実績を踏まえ、福島第二原子力発電所2号炉の当該評価部位について評価の見直しを実施した。【別紙1参照】

2. 基本方針

粒界型応力腐食割れに対する評価の基本方針は、評価対象部位について健全性評価を行い、運転開始後40年時点までの期間において「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項に適合することを確認することである。

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れを評価するにあたっての要求事項を表1に整理する。

なお、本事象は原子炉の安定停止状態が維持されることを前提とした場合、劣化の進展が考えられない経年劣化事象である。したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないものの、現在までの劣化の進展を考慮した耐震安全性評価を行うため、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と同様に健全性評価を行った。

表1 粒界型応力腐食割れについての要求事項

ガイド	要求事項
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。 イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

原子炉压力容器
(差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティ)

3.2 評価手法

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れについて、溶接残留応力を解析し、粒界型応力腐食割れが発生すると考えられている応力を超えるか確認する。

粒界型応力腐食割れ発生の可能性を評価した結果、その発生の可能性が否定できないものについては、その発生または進展に係る健全性評価を行い、実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド等に定める要求事項に適合することを確認する。

4. 技術評価

4.1 健全性評価

(1) 健全性評価の概要

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れについて以下の手順にて評価を行った。

- ① 評価対象に対して、粒界型応力腐食割れ発生の可能性について研究を行った電力共同研究「実機構造部材の SCC 評価研究」の成果の適用可否を確認。
- ② 評価対象の配管口径、材質、溶接条件等を模擬した溶接残留応力解析を実施。
- ③ 溶接残留応力解析により算出した応力が電力共同研究「実機構造部材の SCC 評価研究」の成果として得られた粒界型応力腐食割れ発生の下限界応力の目安以下であることを確認。

(2) 評価結果

溶接残留応力解析の結果、電力共同研究「実機構造部材の SCC 評価研究」の成果として得られた粒界型応力腐食割れ発生の下限界応力の目安以下であることを確認した。

【別紙 2, 3, 4 参照】

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティは小口径のため薄肉であり、大口径配管の溶接部と比較して溶接入熱量が低いと考えられるほか、溶接残留応力も大口径配管の溶接部に比べ十分小さく粒界型応力腐食割れ発生の下限界応力の目安以下であることから、粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断する。

さらに、安定停止状態においては当該部位が 100℃を超えることはないため、今後これらの部位について粒界型応力腐食割れの発生する可能性は無い。

4.2 現状保全

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティについては、東北地方太平洋沖地震の影響を踏まえ、安定停止の維持に直接的な影響がないことを確認することを目的として、平成 25 年度に漏えい検査により貫通亀裂のないことを確認している。

4.3 総合評価

技術評価の結果、差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティについては、小口径のため薄肉であり、大口径配管の溶接部と比較して溶接入熱量が低いと考えられるほか、溶接残留応力も大口径配管の溶接部に比べ十分小さく粒界型応力腐食割れ発生の下限界応力の目安以下であることから、粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断する。

さらに、安定停止状態においては当該部位が 100℃を超えることはないため、今後これらの部位について粒界型応力腐食割れの発生する可能性は無いこと及びドライウェルサンプの流入量と水位監視により健全性の確認は可能であると判断する。

4.4 高経年化への対応

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れに対しては、高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

5. まとめ

5.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、全ての要求を満足していることを確認した粒界型応力腐食割れについての要求事項との対比を表2に示す。

5.2 保守管理に関する方針として策定する事項

今後も現状の保全方針により健全性を確認していくものとし、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はない。

表 2 (1/2) 粒界型応力腐食割れについての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>	<p>「4.1 健全性評価」に示すとおり、差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティについて粒界型応力腐食割れの発生に係る健全性評価を実施した。</p> <p>「4.2 現状保全」に示すとおり、健全性評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>「4.4 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。</p> <p>「4.4 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>

表 2 (2/2) 粒界型応力腐食割れについての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p>	<p>「4.1 健全性評価」に示すとおり、差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティについて粒界型応力腐食割れの発生に係る健全性評価を実施し、また、「4.4 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。</p> <p>「4.4 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。</p>

評価の見直しを行った経緯

1. はじめに

本資料は、福島第二原子力発電所 2 号炉（以下、福島第二 2 号炉）の差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れについて評価の見直しを行った理由を示す。

2. 現在の高経年化技術評価の結果を踏まえた長期保守管理方針

平成26年1月22日付けで原子力規制委員会より認可を受けている、福島第二 2 号炉の長期保守管理方針に係る保安規定の変更認可申請にて、現状の保全活動に対して追加すべき保守管理項目として以下の項目が抽出されている。

長期保守管理方針の記載（保安規定 添付 4）

「差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れについては、電力共通研究等にて得られた知見を踏まえて点検を実施する。」（期間：短期/H31. 2. 2まで）

3. 当該評価部位の評価の見直しを行った理由

長期保守管理方針に記載の差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの劣化評価については、電力共同研究「実機構造部材のSCC評価研究」の成果により、小口径について溶接残留応力・硬度の観点から、粒界型応力腐食割れの発生の可能性が顕在化する以前に評価により当該評価部位の健全性を評価することが可能であることが確認できた。

福島第二 2 号炉の後続となる福島第二原子力発電所 3 号炉以降の高経年化技術評価では、電力共同研究の成果を用いることにより、小口径について粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと評価している。

これらの状況を勘案し、最新の高経年化技術評価の実績を踏まえ、福島第二 2 号炉の当該評価部位について評価の見直しを行うこととした。

4. 小口径配管に対する検査技術の開発状況

当該評価部位については、当時実施中の電力共同研究「小口径配管の検査技術開発に関する研究」の成果を活用し、超音波探傷試験（UT）による点検を計画していた。しかしながら、本件研究の成果として、小口径の場合には、外面形状の影響が相対的に顕著に出ることが確認されており、エコー識別性が低下することにより検出率も低下する傾向にあることが確認されている。

電力共同研究終了後も小口径配管の超音波探傷試験技術の確立・実機適用に向けて検討を進めてきたが、実機への適用に向けて課題解決の必要な状況にある。

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの
粒界型応力腐食割れに対する技術評価の手順

1. 評価手順

福島第二原子力発電所 2 号炉の差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの粒界型応力腐食割れに対して、最新の経年変化技術評価の実績を踏まえ当該評価対象の技術評価の見直しを行った。

最新の経年変化技術評価の実績では、電力共同研究「実機構造部材のSCC評価研究（平成19 年度報告書）」（補足説明資料 添付資料参照）において、小口径配管（50A 以下）の溶接部については、溶接残留応力・硬度の観点から粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいとする成果が得られている。

このため、同様の評価を行うため、今回見直しを行った技術評価において、以下の作業フローにより評価を行った。

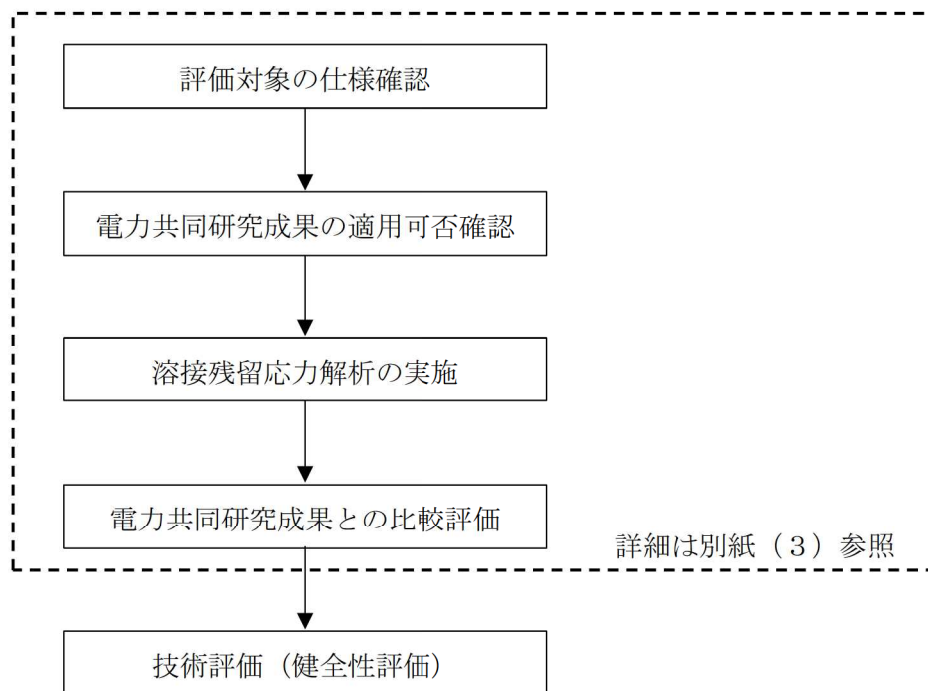


図1 差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの
粒界型応力腐食割れに対する技術評価の作業フロー

福島第二原子力発電所 2 号炉における残留応力解析結果

1. 差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの仕様

電力共同研究「実機構造部材の SCC 評価研究」(以下、「電共研」とする)における供試体の仕様と、福島第二原子力発電所 2 号炉(以下、福島第二 2 号炉)における差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの構造を図 1 に示す。また、仕様を表 1, 2 に示す。

電共研において、小口径配管(50A 以下)の溶接部については、溶接残留応力・硬度の観点から粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいとする成果が得られており、電共研における供試体の仕様と福島第二 2 号炉における差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの仕様は、配管口径等に大きな違いはないことから、当該評価対象に対して電共研成果を適用可能であることを確認した。

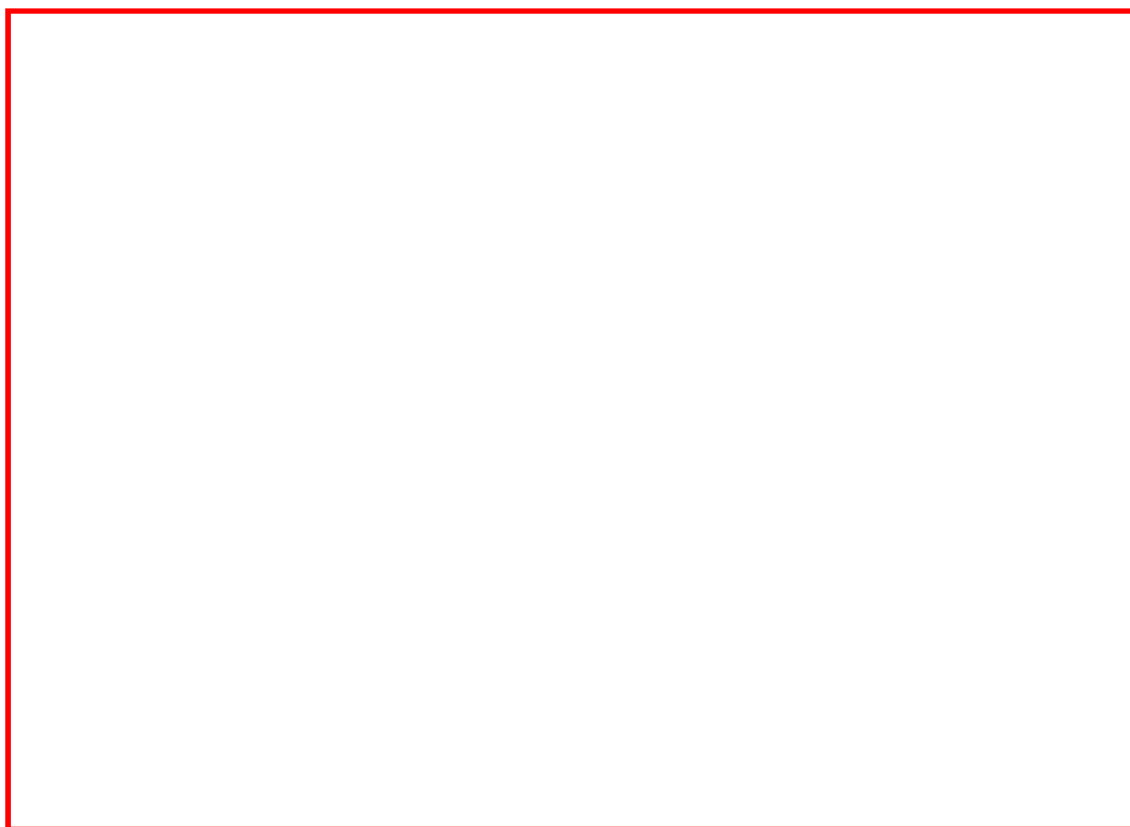


図 1 福島第二 2 号炉における差圧計装・ほう酸水注入ノズル
及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの構造について



内は商業機密に属しますので公開できません

表1 電共研における供試体及び福島第二2号炉における差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの仕様

	電共研の供試体	福島第二2号炉			
		①	②	③	④(残留応力解析実施)
名称					
口径					
継手種別					
溶接方法					
材質					
溶接金属					

表2 電共研における供試体及び福島第二2号炉における差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの仕様

	電共研の供試体	福島第二2号炉			
		⑤	⑥	⑦(残留応力解析実施)	⑧
名称					
口径					
継手種別					
溶接方法					
材質					
溶接金属					

2. 解析手順

差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの溶接部の残留応力解析の解析条件を表3に、解析手順を図2に示す。

表3 解析条件

解析コード	
解析モデル	
解析タイプ	
境界条件	
溶接部の要素の取扱い	

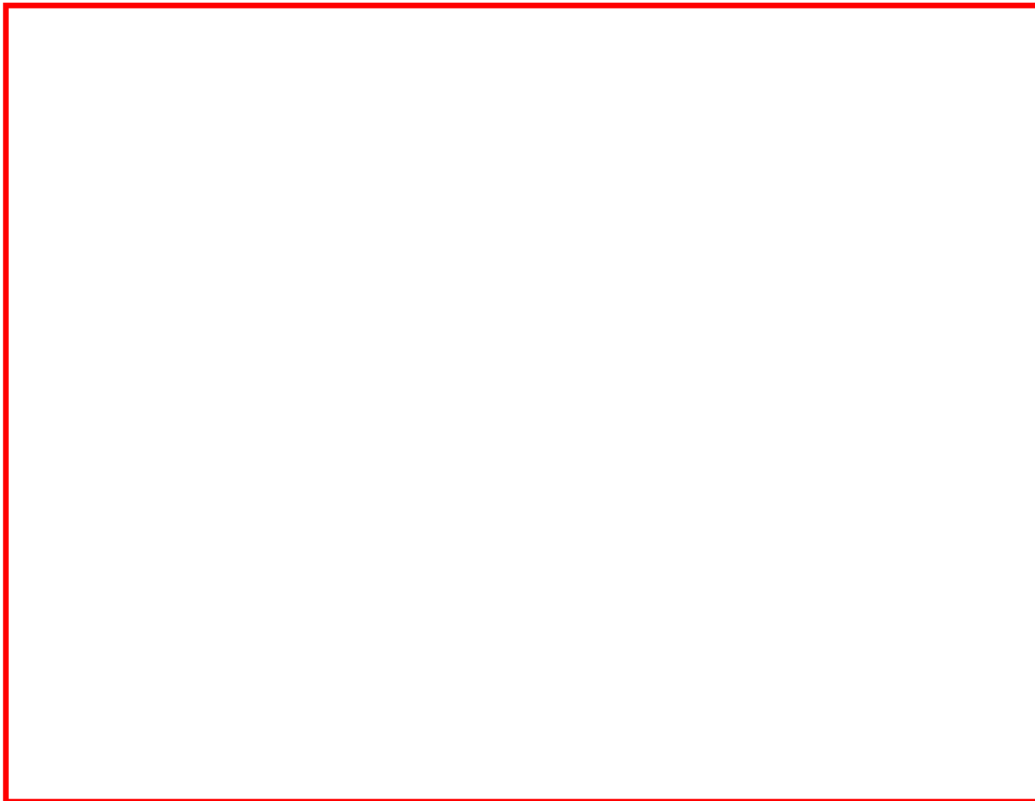


図2 解析手順について



3. 解析対象の選定

福島第二2号炉における差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティの溶接部について、溶接部の形状から突き合わせ溶接部とすみ肉溶接部に分類を行った。

次に、形状変化部の有無、配管口径から残留応力解析の評価対象とする溶接線（④及び⑦）を選定した。

4. 解析モデルの作成

解析モデルの作成にあたっては、残留応力解析の対象として選定した溶接部の図面及び溶接記録からモデル化を実施した。また、材料物性値については、旧独立法人 原子力安全基盤機構の複雑形状部機器配管健全性実証事業において取得したデータ等を用いた。

5. 熱伝導解析

溶接の積層や入熱条件について、残留応力解析の対象として選定した溶接線の溶接記録を参照して実機の溶接入熱を模擬した。

6. 残留応力解析

解析に用いたモデル図の概要と前述の解析条件と解析手順から求めた残留応力解析結果を図3、4に示す。



図3 ノズルと90°エルボの溶接部（⑦）に対する残留応力解析結果





図4 パイプとパイプの溶接部（④）に対する残留応力解析結果

このように実機の溶接部における残留応力解析の結果と電共研より得られた溶接残留応力・硬度の観点から、差圧計装・ほう酸水注入ノズル及び差圧計装・ほう酸水注入ノズルティ溶接部の粒界型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断している。

なお、これらの評価対象部位の残留応力解析結果について、同様の構造を持つプラントにおける解析実績との比較等を行っており、これらの傾向が一致していることを確認している。

以上



【参考】 残留応力解析結果の傾向確認

別紙 3 により得られた福島第二 2 号炉の解析結果（左図）について、同様の仕様と構造を持つプラントの評価実績（右図）を用いて傾向の確認を行った結果を示す。

名称	
口径	
継手種別	
溶接方法	
材質	
溶接金属	
構造	
残留応力 解析結果	

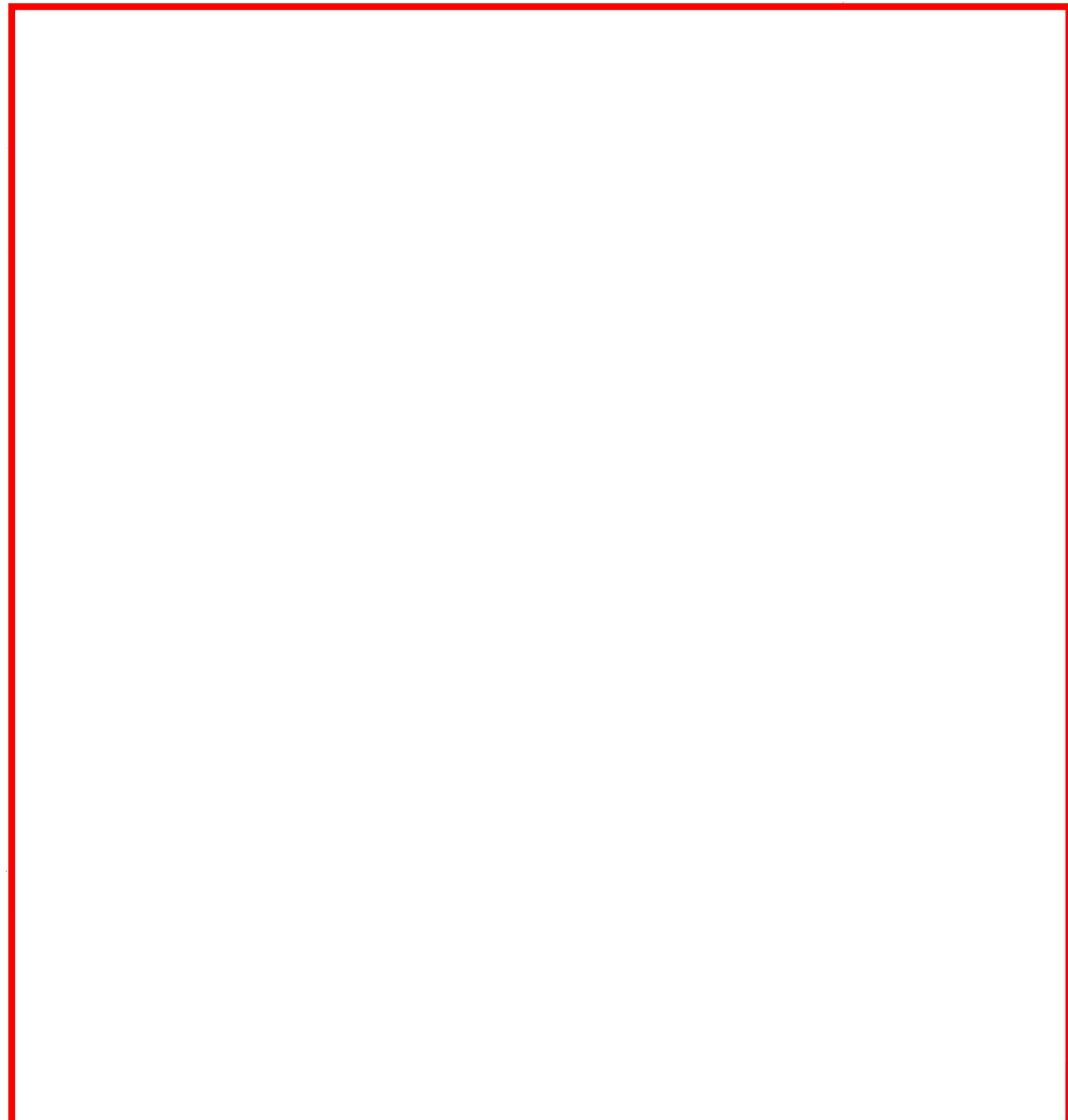
名称	
口径	
継手種別	
溶接方法	
材質	
溶接金属	
構造	
残留応力 解析結果	

このように、同様の仕様と構造を持つプラントの評価実績を用いて傾向の確認を行った結果、福島第二2号炉における残留応力解析結果について、実機構造の違いによる差異はあるものの、同様の傾向を示すことを確認した。

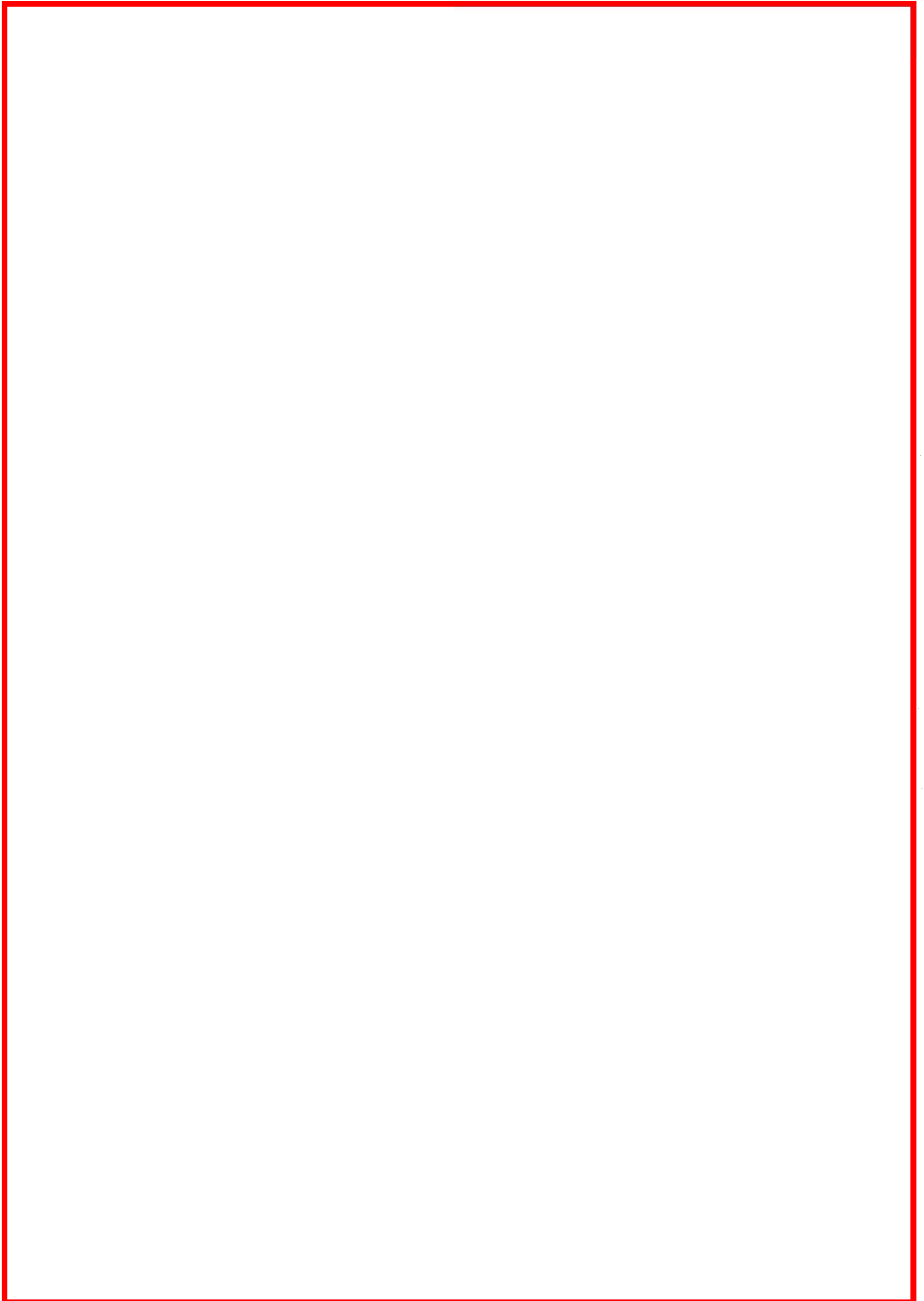
要約版

共同研究報告書

実機構造部材のSCC評価研究

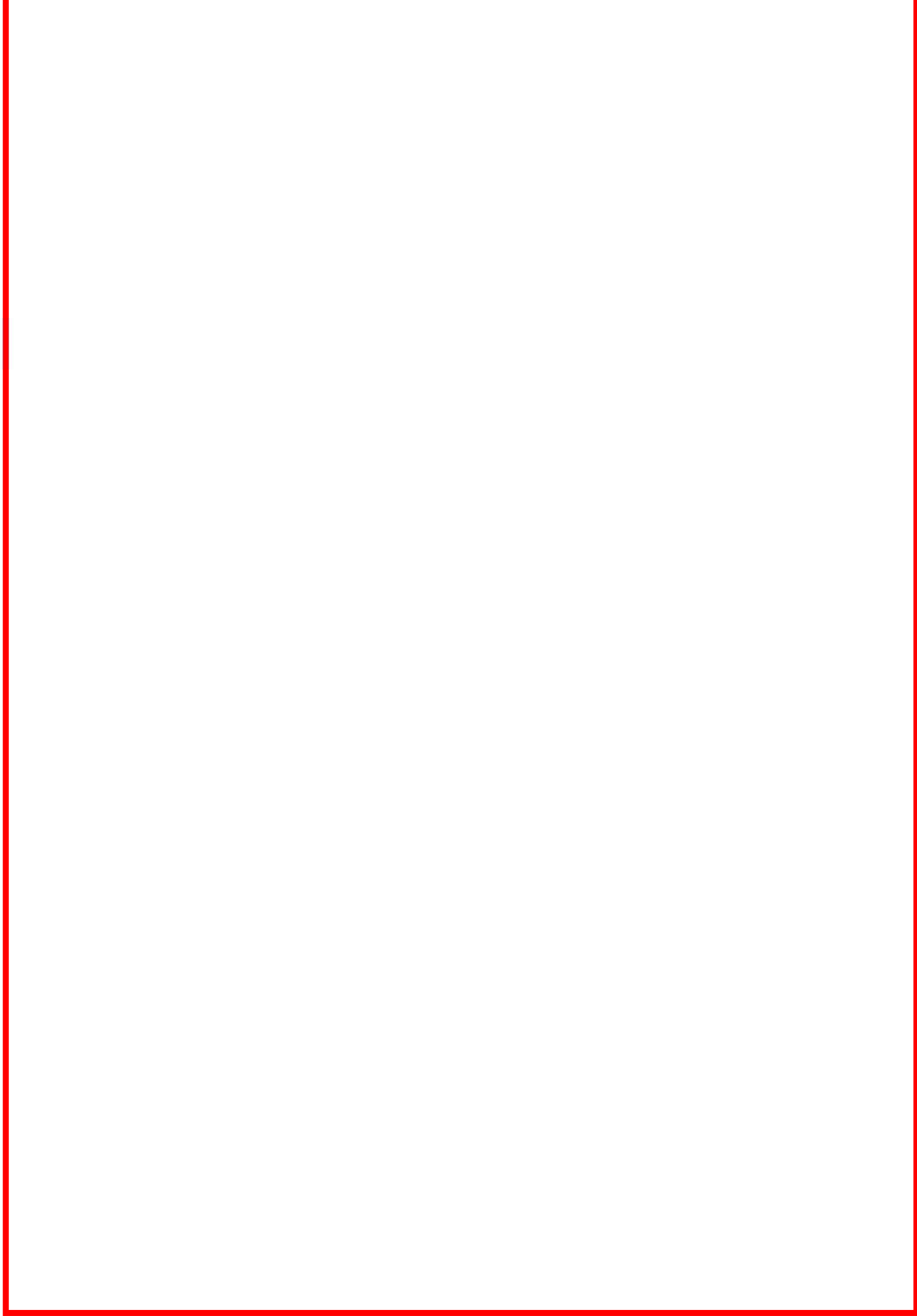


内は商業機密に属しますので公開できません

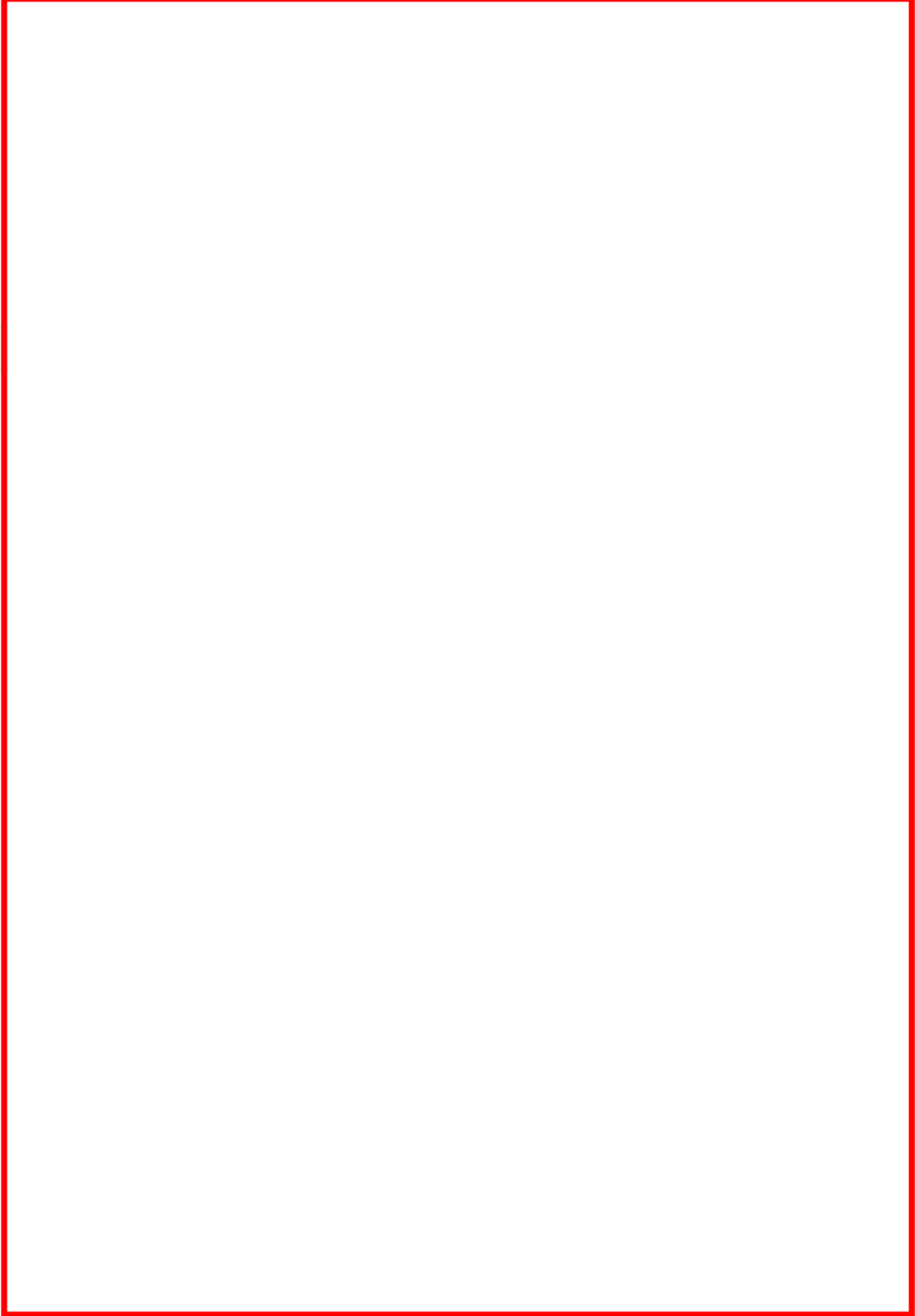


内は商業機密に属しますので公開できません

□ 内は商業機密に属しますので公開できません



□ 内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません

