

AFDEXによるカシメ工法配管接続シミュレーション

A Simulation of the Caulking Pipe Connection in AFDEX

2022/12/13 ~ 2022/12/20

パナソニック コネクト株式会社

モノづくりイノベーション本部 現場最適化推進部 シミュレーション技術課

辻田 和真

Panasonic
CONNECT

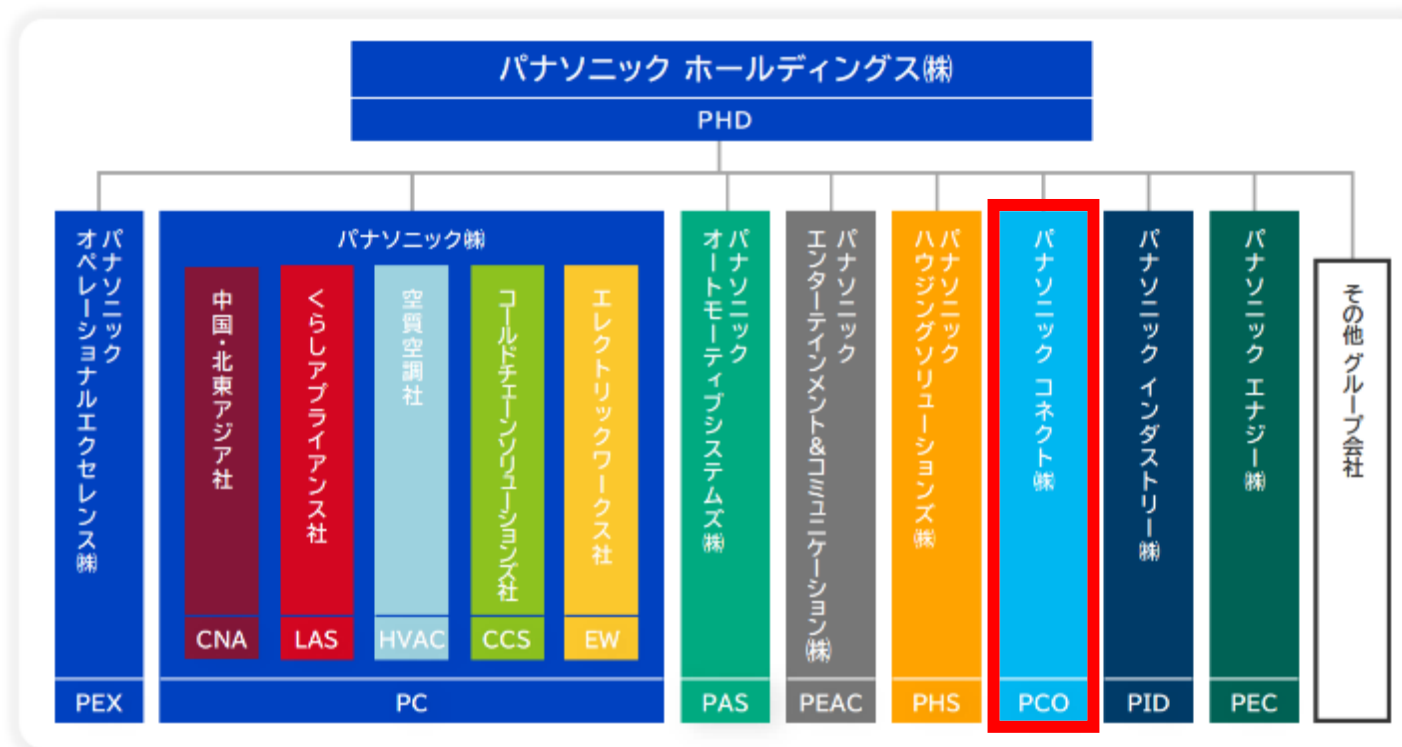
1. 会社紹介
2. 取り組みの背景・目的
3. 解析法の検討（モデル化、解析条件）
4. 課題①_配管形状のばらつきを考慮したカシメ解析
5. 課題②_配管カシメ時のつぶれ現象のメカニズム明確化
6. まとめと要望

1. 会社紹介_パナソニック ホールディングス(株)

会社名	パナソニック ホールディングス株式会社
本社所在地	大阪府門真市大字門真1006番地
設立	1935年（昭和10年）12月
創業	1918年（大正7年）3月（創業104周年）
資本金	2,529億円（2022年3月31日現在）
売上高	7兆3,888億円（2022年3月期）
従業員数	240,198人（2022年3月31日現在）
グループ会社	523社(親会社および連結子会社)



■ パナソニックグループ新体制（2022年4月～）



1. 会社紹介_パナソニック コネクト(株)の事業領域

所在地
事業内容

東京都中央区銀座8丁目21番1号

パナソニックならではの“モノづくり”で培った知見とノウハウを、サービスやソリューションとつなげることで、さまざまな「現場」にイノベーションをもたらす

- ・・・「サプライチェーン」「公共サービス」「生活インフラ」「エンターテインメント」分野向け機器・ソフトウェアの開発／製造／販売、並びに、システムインテグレーション／施工／保守・メンテナンス、およびサービスを含むソリューションの提供

従業員数

約28,500人（2022年4月1日現在）

パナソニック コネクト株式会社 Panasonic Connect Co., Ltd.

コネクト社生産技術の先行開発部門としてモノづくりイノベーションを牽引

直轄	モノづくりイノベーション本部	Manufacturing Innovation Division	※拠点 大阪府門真市
	ブルーヨonder ホールディング株式会社	Blue Yonder Holding, Inc.	
	メディアエンターテインメント事業部	Media Entertainment Business Division	
	プロセスオートメーション事業部	Process Automation Business Division	
	パナソニック アビオニクス株式会社	Panasonic Avionics Corporation	
	アビオニクスビジネスユニット	Avionics Business Unit	
	モバイルソリューションズ事業部	Mobile Solutions Business Division	
	現場ソリューションカンパニー	Gemba Solutions Company	
	ビジネスコミュニケーションビジネスユニット	Business Communication Business Unit	
	ストレージ事業開発センター	Storage Business Development Center	
	技術研究開発本部	R&D Division	

BlueYonder



2. 今回の取り組みの背景・目的

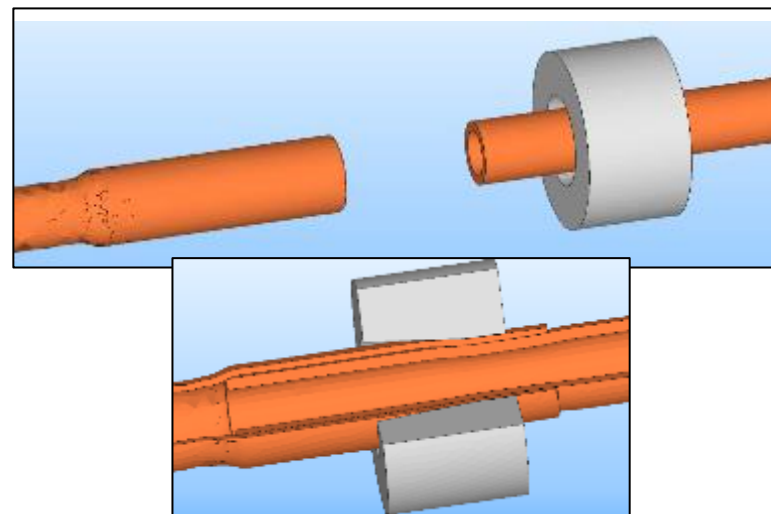
背景

- ・配管接続工法の中で熱プロセス不要で安全性が高いカシメ工法が期待されている
- ・カシメ工法はそのメカニズムにおいて明確でない部分も多く、量産製品の製造への導入事例も少ない



一般的なろう付け工法のイメージ

<https://www.dakotajapan.com/thickness-gauge/point/brazedCopperPipe.html>

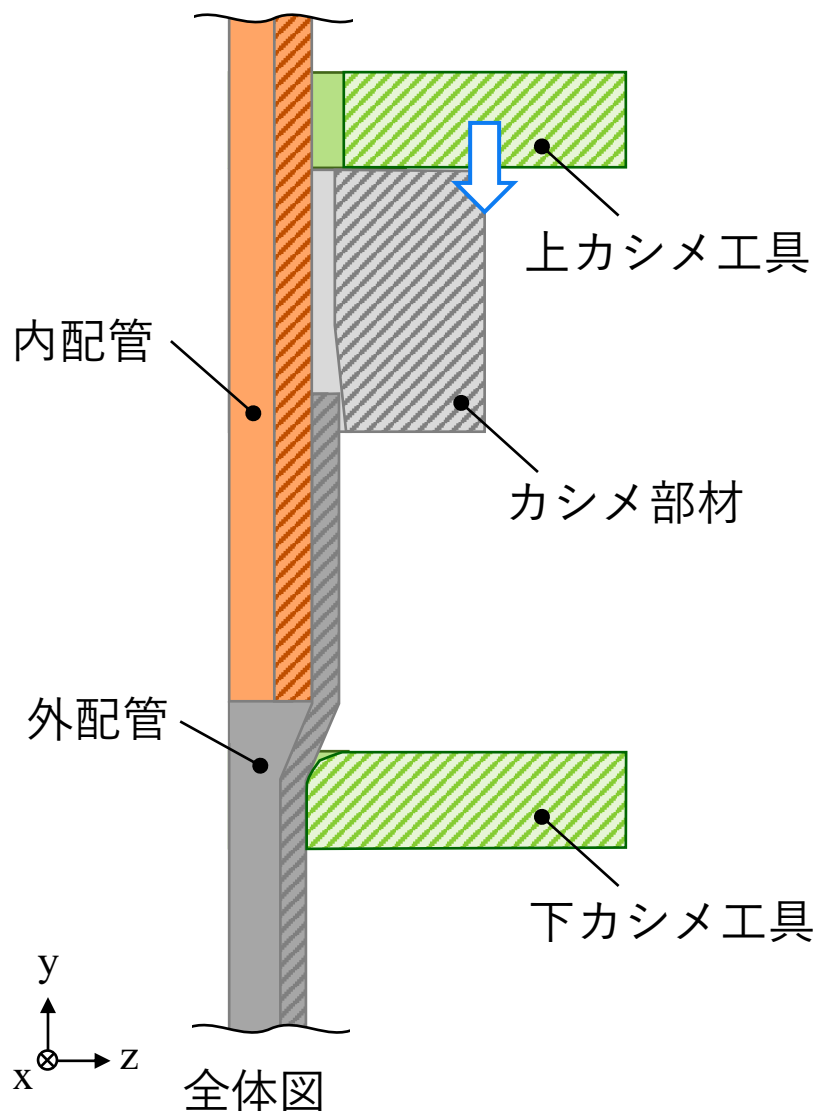


カシメ工法のイメージ

目的

- ・配管接続において本カシメ工法を量産製品の製造工程に導入することを目的とし解析法の構築を行い、
 - ①配管内側と外側の形状公差組み合わせ時のシーリング性
 - ②配管差し込み不足時の配管つぶれ
 に対して解析を行って課題解決を図る

初期解析モデル



解析条件

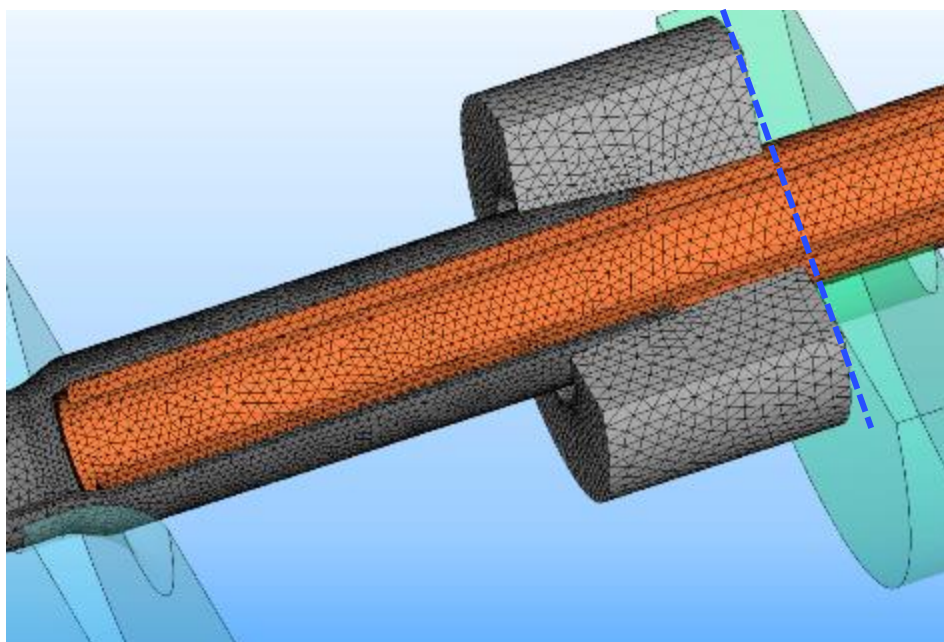
各素材設定（標準ライブラリの物性値を使用）

	外配管	カシメ部材	内配管
ヤング率 [GPa]	117	200	200
ポアソン比	0.34	0.29	0.29
0.2%耐力 [MPa]	-	245~	245~
引張強度 [MPa]	245~	400~	400~

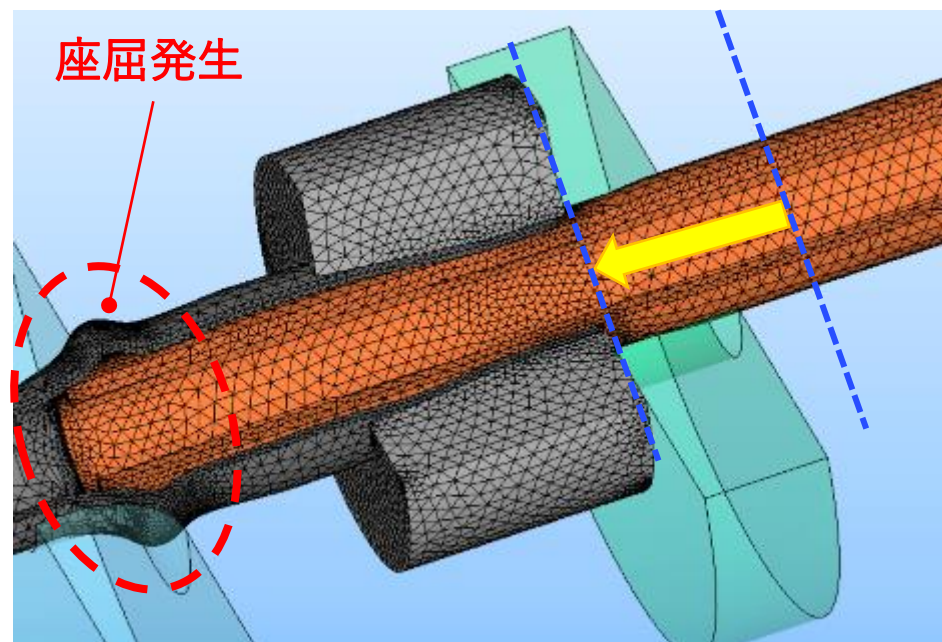
- ・ 素材温度 : 20°C（熱影響は考慮しない）
- ・ 動作 : 一定速度で降下
- ・ 摩擦 : せん断摩擦（係数0.06）
- ・ カシメ完了時点での各管の形状変化を確認

初期解析結果

- ・ 実現象とは異なる外配管の座屈が発生



(a) カシメ開始

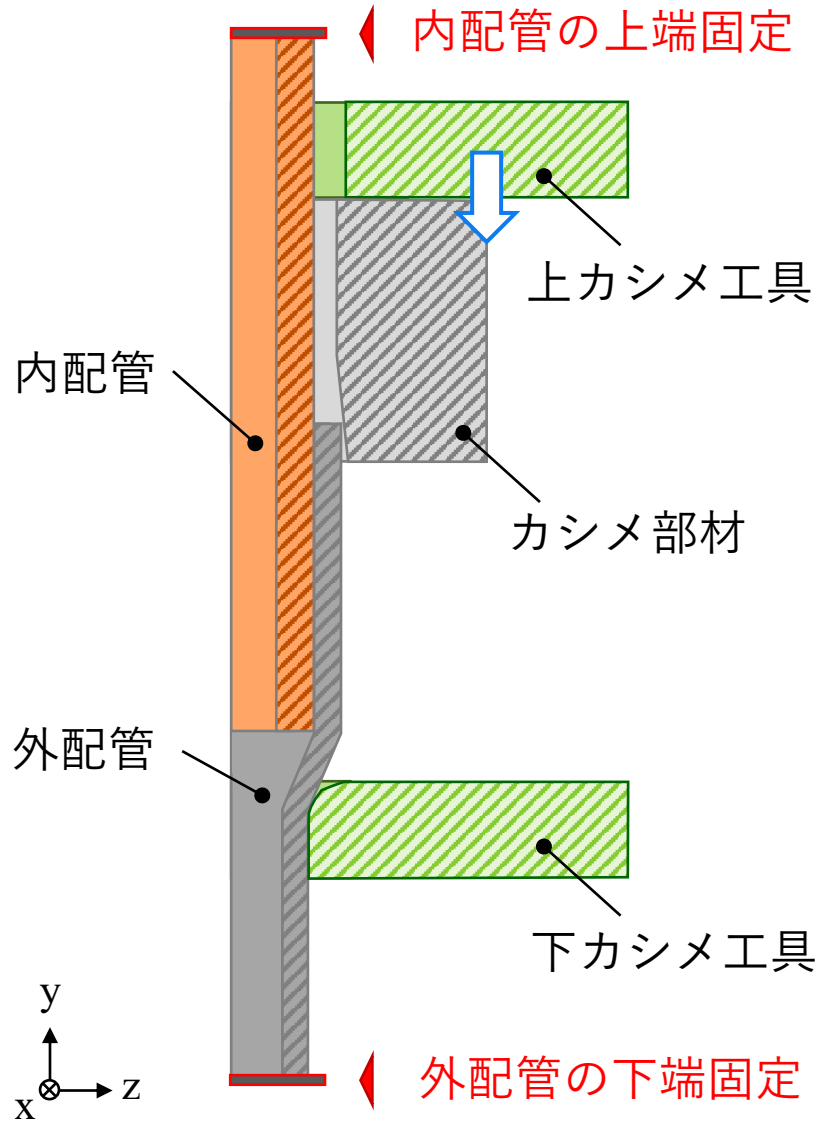


(b) カシメ終了

初期構築モデルでの形状変形解析結果

モデル改良①_配管末端の固定

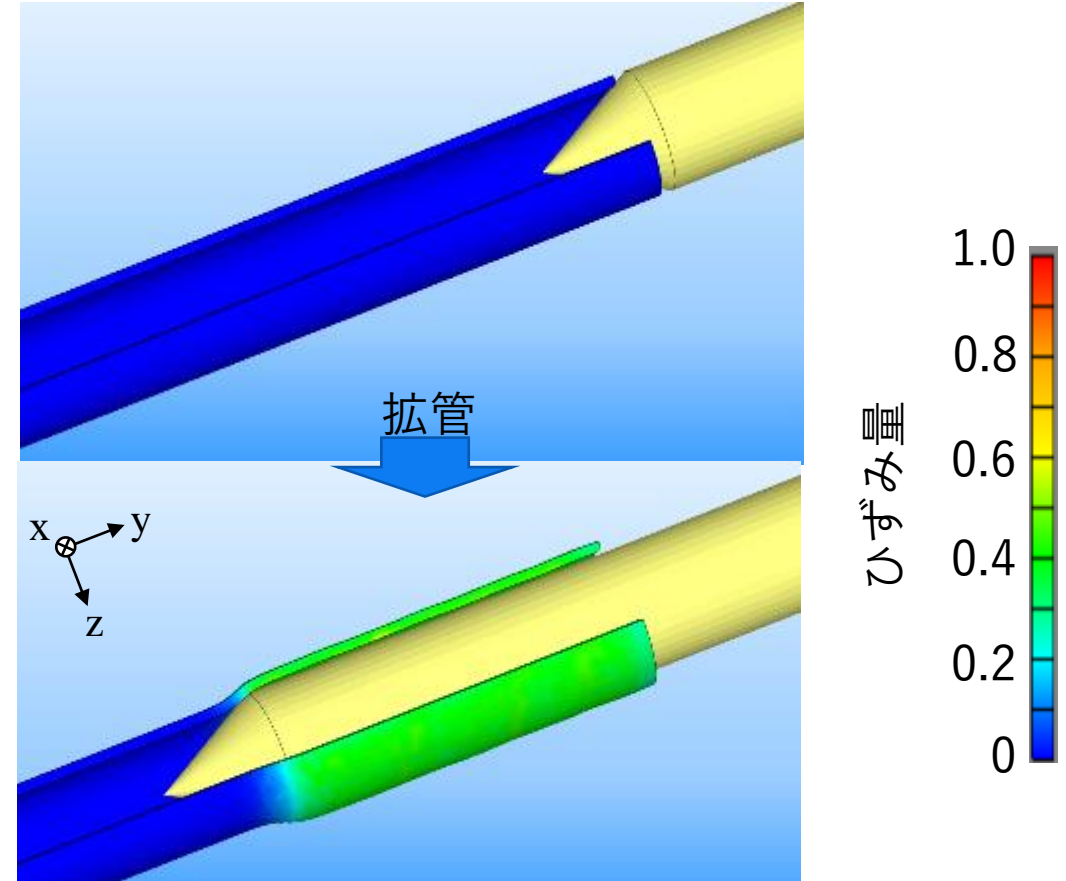
- 各配管の末端を固定



全体図

モデル改良②_拡管工程(事前工程)の計算結果を連携

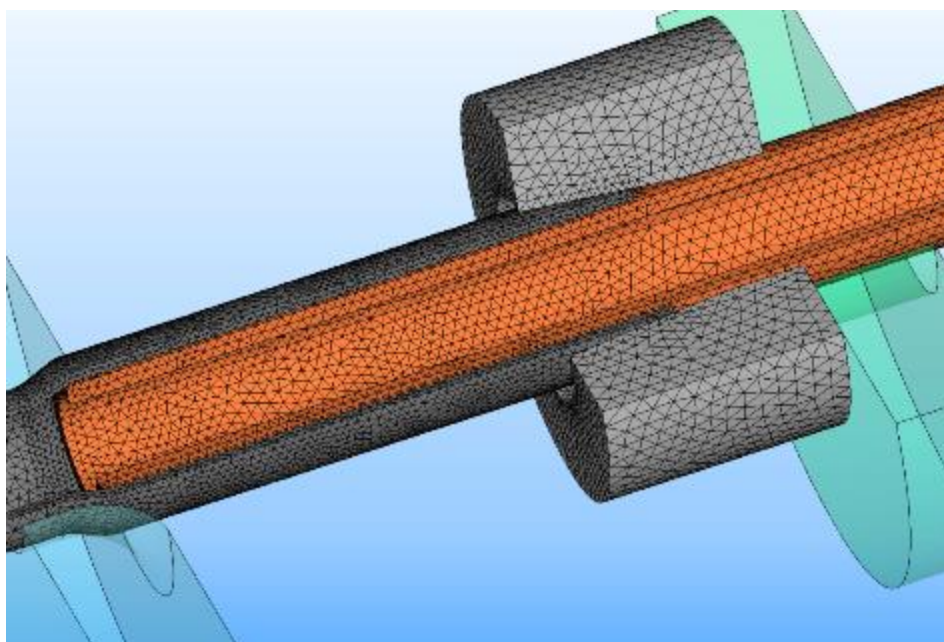
- 外配管の拡管によるひずみ量を計算し加工硬化を考慮



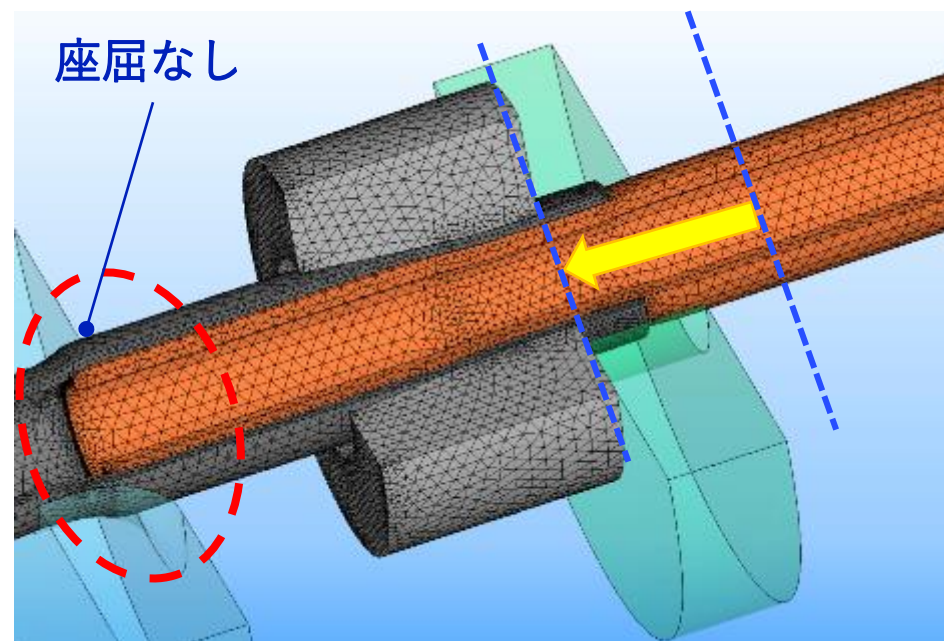
事前工程の拡管におけるひずみ量計算結果

解析結果

- ・ 実現象に近い座屈ない解析モデルを構築

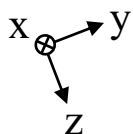


(a) カシメ開始



(b) カシメ終了

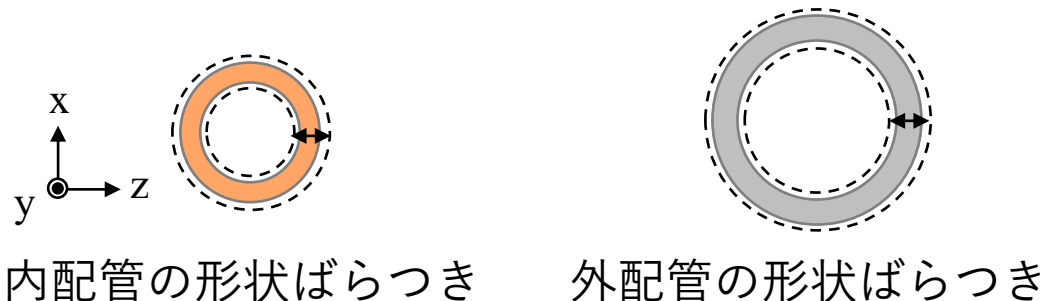
現実の状況に合わせたモデルでの形状変形解析結果



4. 課題に対する解析取り組み

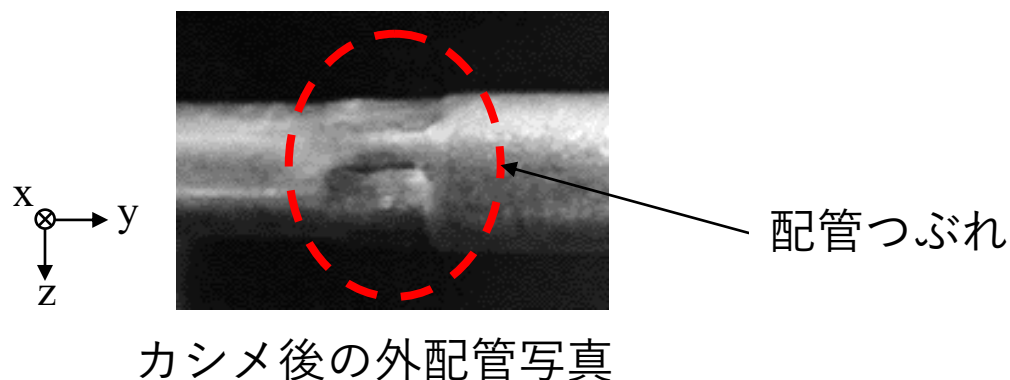
課題①

- 配管形状のバラつきを考慮したカシメ解析
内配管および外配管にはそれぞれ公差を持っており、公差の上下限にて隙間が変わるので、カシメ後のシーリング性能の確認を行う



課題②

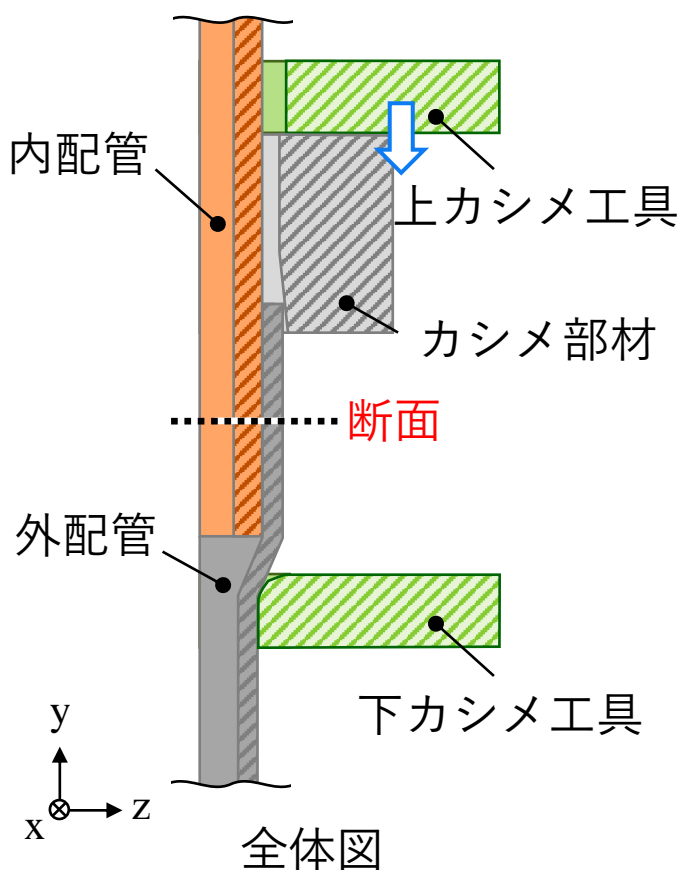
- カシメ時における配管つぶれ現象のメカニズム明確化
外配管に対しての内配管の差し込み不足時にカシメを行うと、下図のような外配管のつぶれ現象が発生、このメカニズムを明確化する



4. 課題①_配管形状のバラつきを考慮したカシメ解析（解析条件）

解析条件

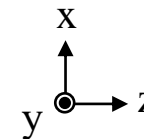
- ・ 下カシメ工具を固定にし、上カシメ工具を一定速度(1mm/s)で降下
- ・ カシメ完了時点での各管の形状変化を確認
- ・ 公差バラつき内での各配管形状の組み合わせによる解析結果における接続部の各面圧を確認



各配管形状の組み合わせ

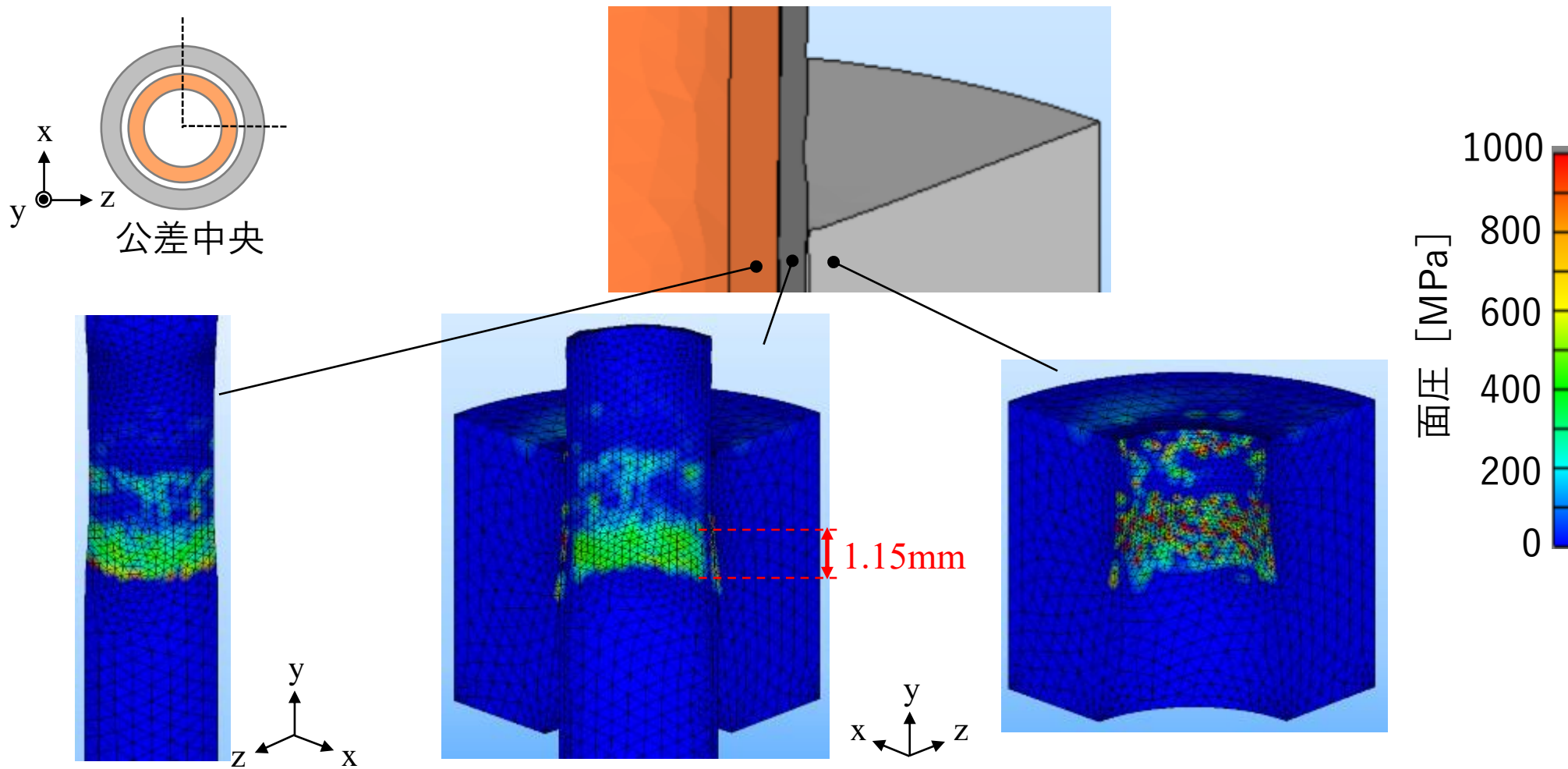
	隙間最大	公差中央	隙間最小	楕円形状
配管組み合わせ断面図				
外配管内径 [mm]	3.80	3.75	3.70	3.80/3.70
内配管外径 [mm]	3.53	3.58	3.63	3.53/3.63

※図面寸法 外配管内径： $3.75 \pm 0.05\text{mm}$
内配管外形： $3.58 \pm 0.05\text{mm}$



解析結果

- ・ 変形形状に関しては、実際のカシメ後形状と概ね同等
- ・ 配管接触部に面圧300MPa以上の幅(配管接触幅)は1.15mmで中央部の平均は406MPaの連続した面圧が発生していることを確認



(a) 内配管外側の面圧

(b) 外配管内側の面圧

(c) カシメ部材の面圧

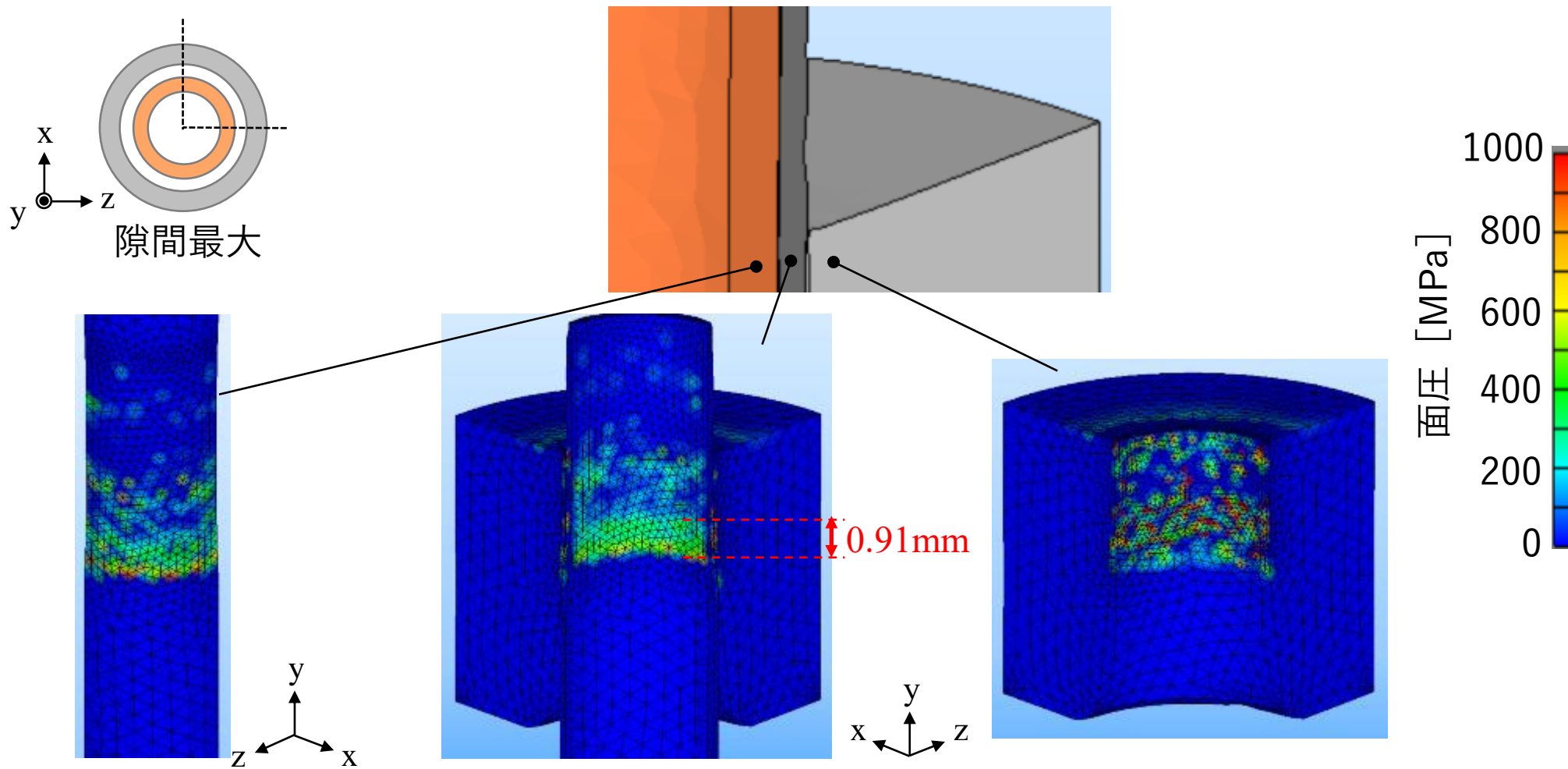
各パーツにおける面圧計算結果

検討内容

・ 隙間が最大となる配管形状組み合わせ

解析結果

・ 公差中央値から隙間が大きくなると面圧発生幅が狭くなりその大きさは減少するが、配管接触幅は0.91mmであり十分シール可



(a) 内配管外側の面圧

(b) 外配管内側の面圧

(c) カシメ部材の面圧

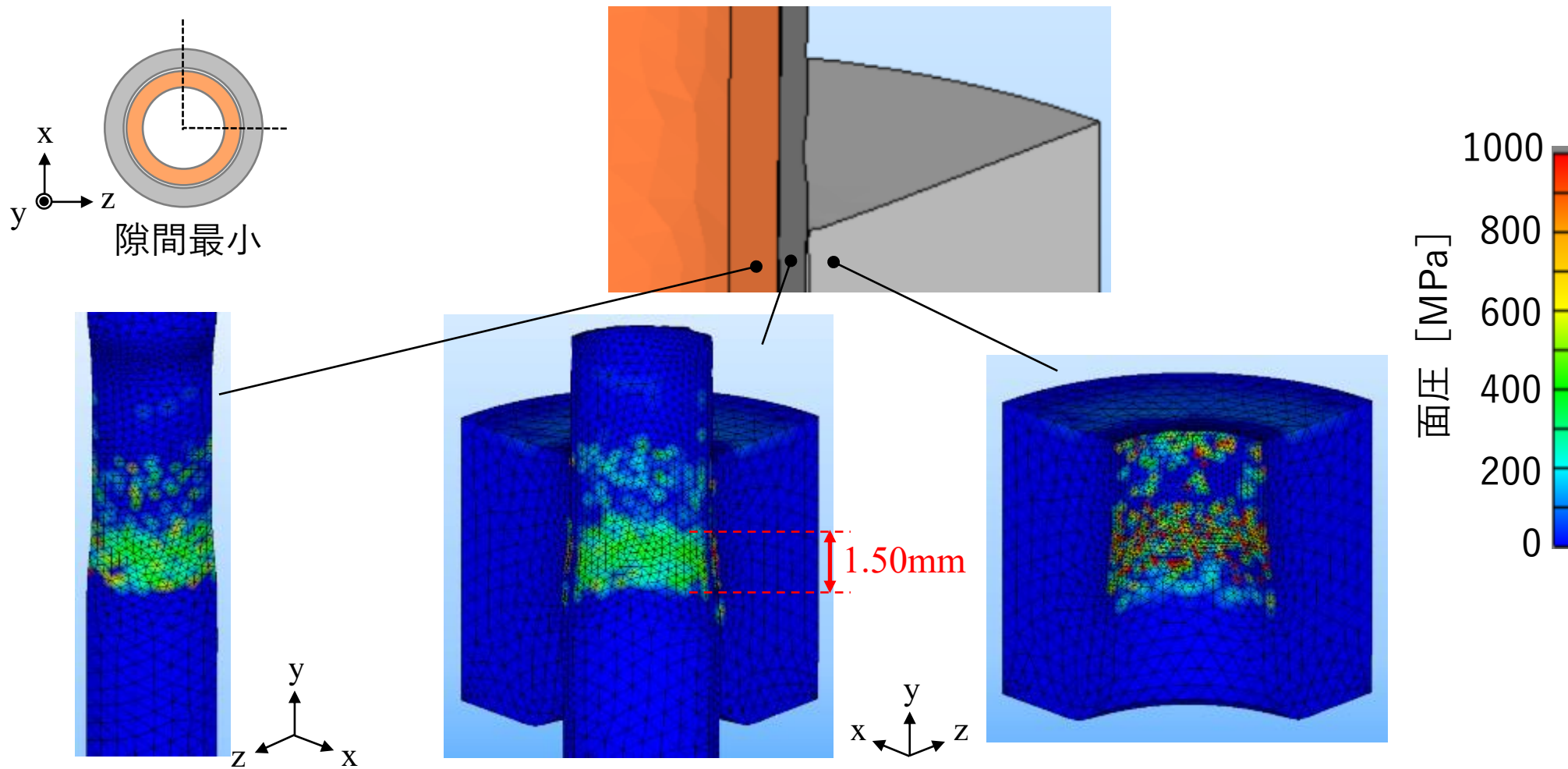
各パーツにおける面圧計算結果

検討内容

・ 隙間が最小となる配管形状組み合わせ

解析結果

・ 公差中央値から隙間が小さくなると面圧発生幅が広くなり大きさは増加する
配管接触幅は1.50mmであり十分シール可



(a) 内配管外側の面圧

(b) 外配管内側の面圧

(c) カシメ部材の面圧

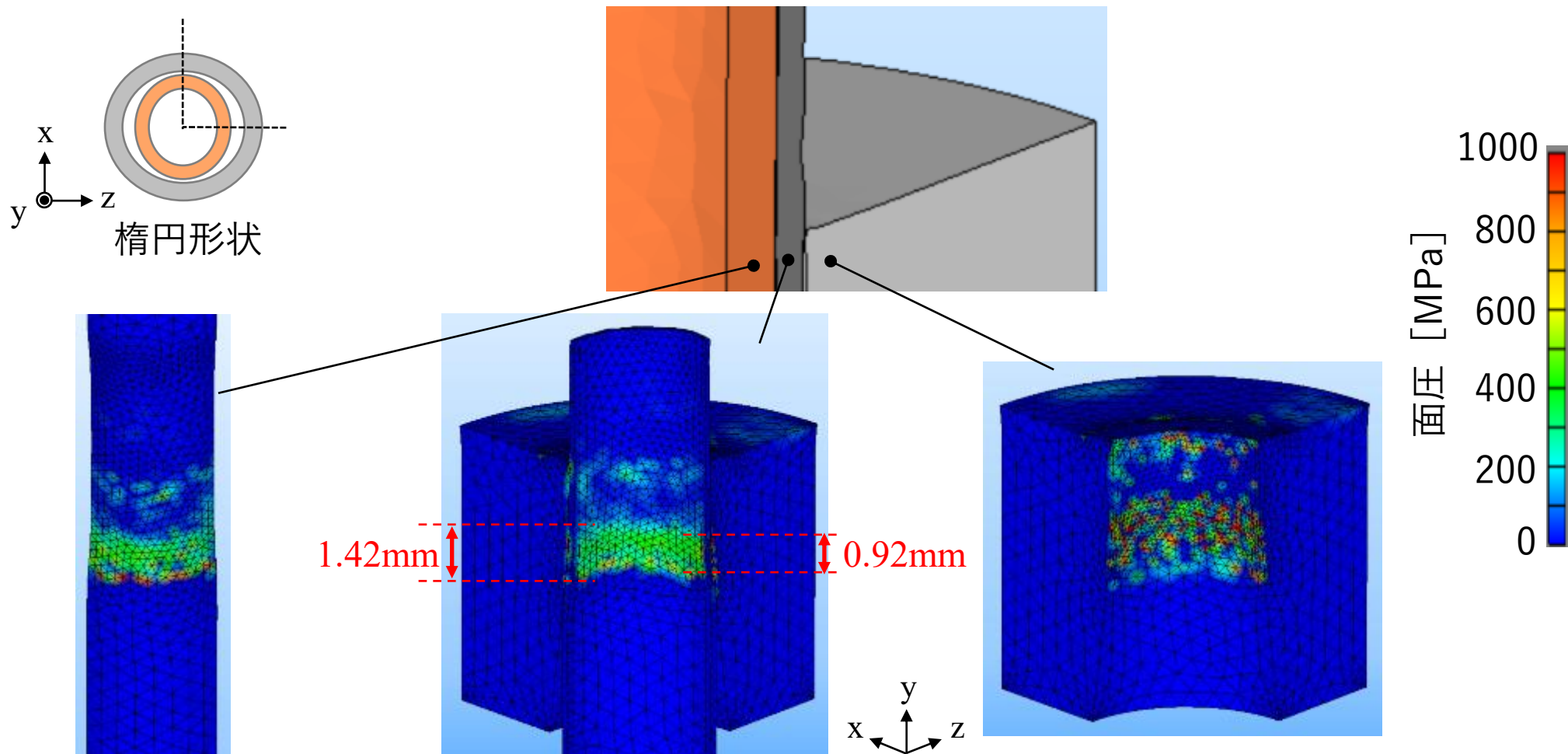
各パーツにおける面圧計算結果

検討内容

・楕円形状となる配管形状組み合わせ

解析結果

・楕円形状による、公差中央値との隙間の違いに応じた面圧幅が発生
配管接触幅は0.92mmから1.42mmであり十分シール可



(a) 内配管外側の面圧

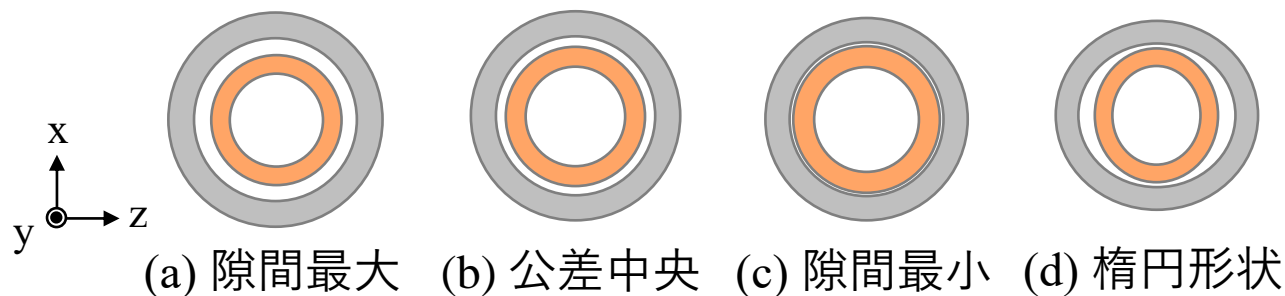
(b) 外配管内側の面圧

(c) カシメ部材の面圧

各パーツにおける面圧計算結果

課題①まとめ

- 公差中央値を基準にバラつきの範囲内($\pm 50\mu\text{m}$)の配管組み合わせでのシール性を確認



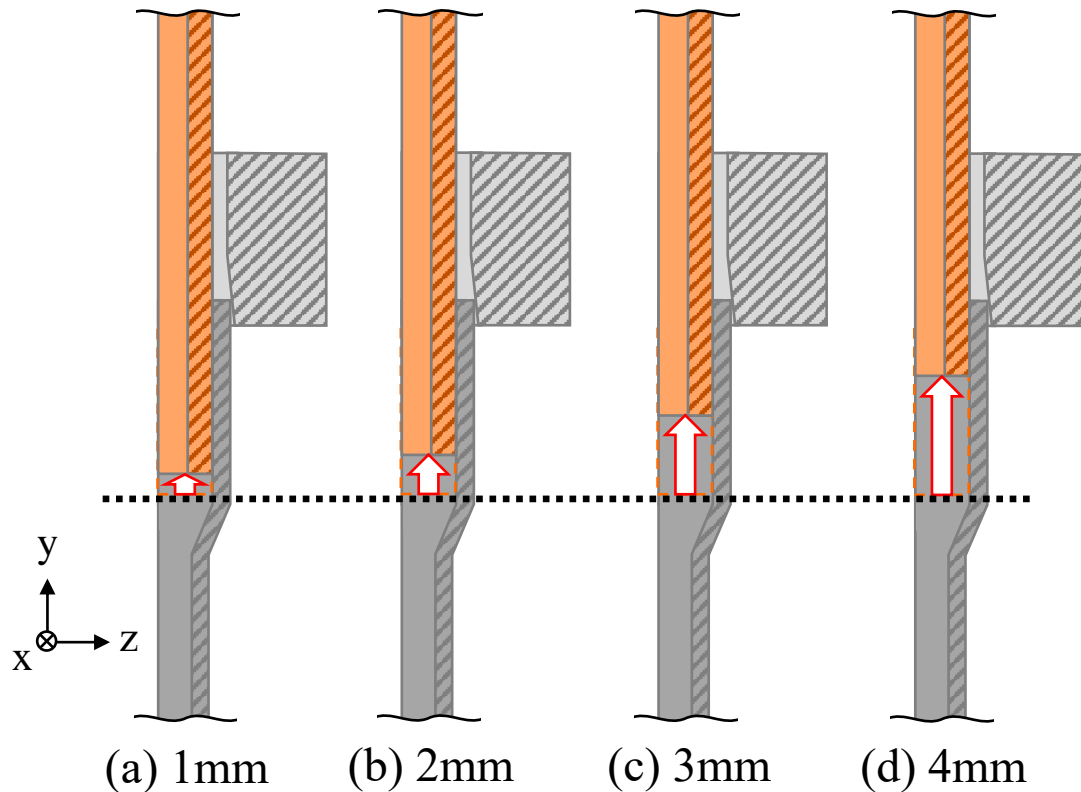
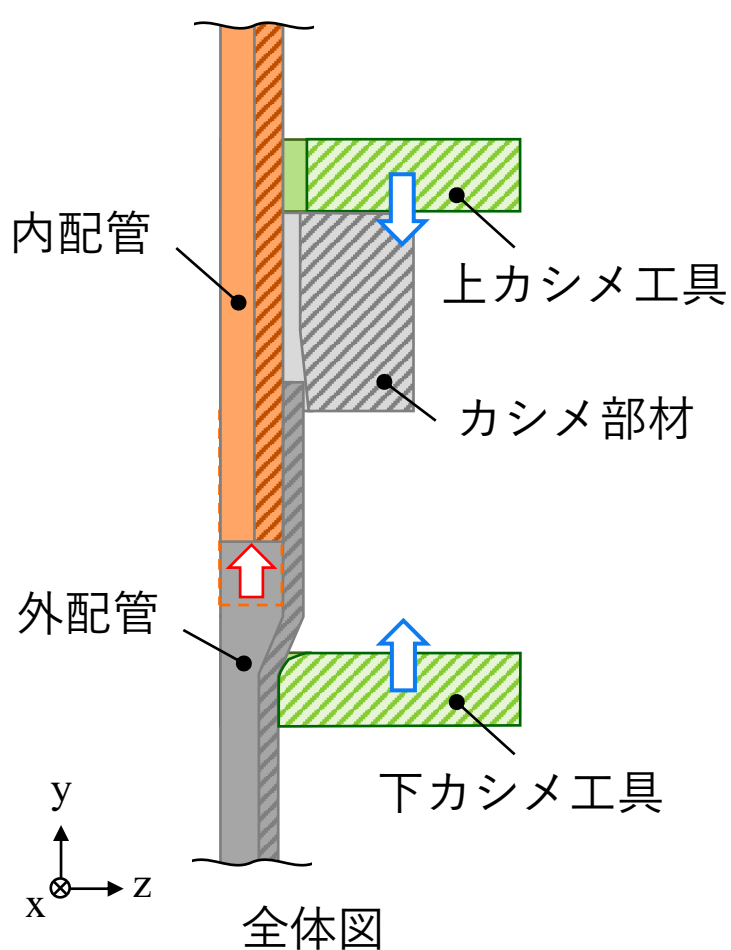
各配管形状の組み合わせ断面図

各配管形状の組み合わせにおける各計算結果

	隙間最大	公差中央	隙間最小	楕円形状
外配管内径 [mm]	3.80	3.75	3.70	3.80/3.70
内配管外径 [mm]	3.53	3.58	3.63	3.53/3.63
配管接触幅 [mm]	0.91	1.15	1.50	0.92/1.42
中央部平均面圧 [MPa]	385	406	425	404

解析条件

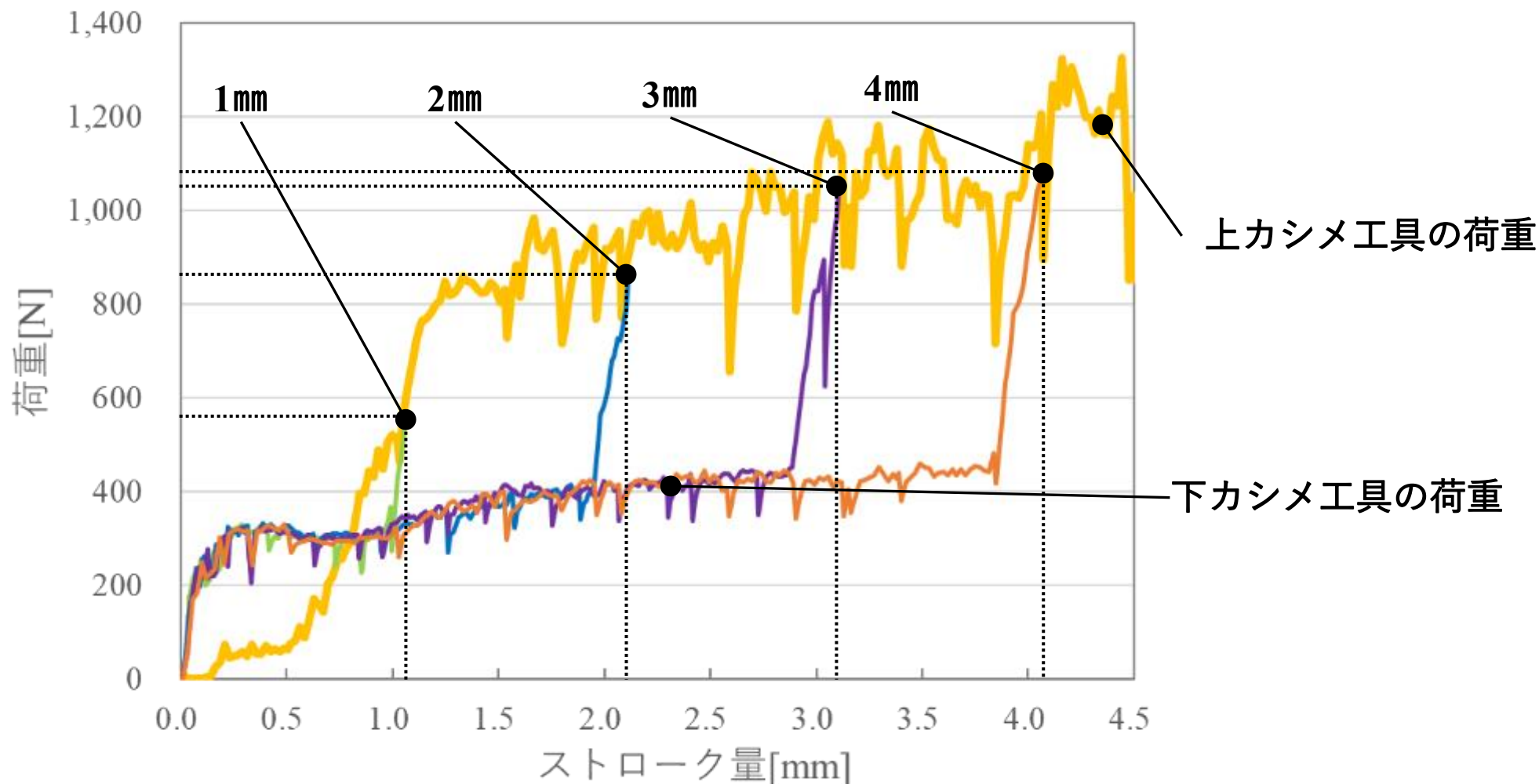
- ・ 上下カシメ工具を一定速度(1mm/s)で動作
- ・ カシメ工具同士が接触、または下カシメ工具荷重が上カシメ工具荷重と等しくなった時点をストック量とする
- ・ 各内配管の浮き量に対するカシメ完了時のカシメ工具荷重プロットと各管形状変化を確認



内配管の浮き量に関するイメージ図

解析結果

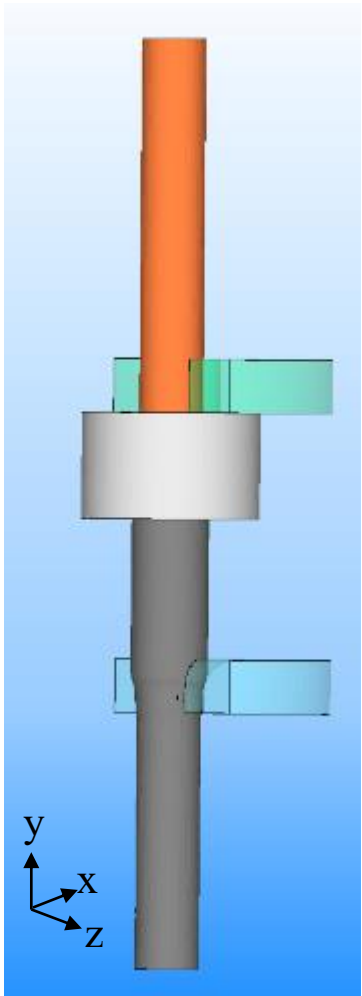
- ・ 上カシメ工具は、初期荷重は小さいがカシメ部材に当たると下カシメ工具よりも高い状態となる
- ・ 下カシメ工具は、内配管に到達するまでは400N程度で外配管をつぶしながら進み、内配管の端部に到達後、急激に荷重が増え上カシメ工具同等の荷重まで上昇する



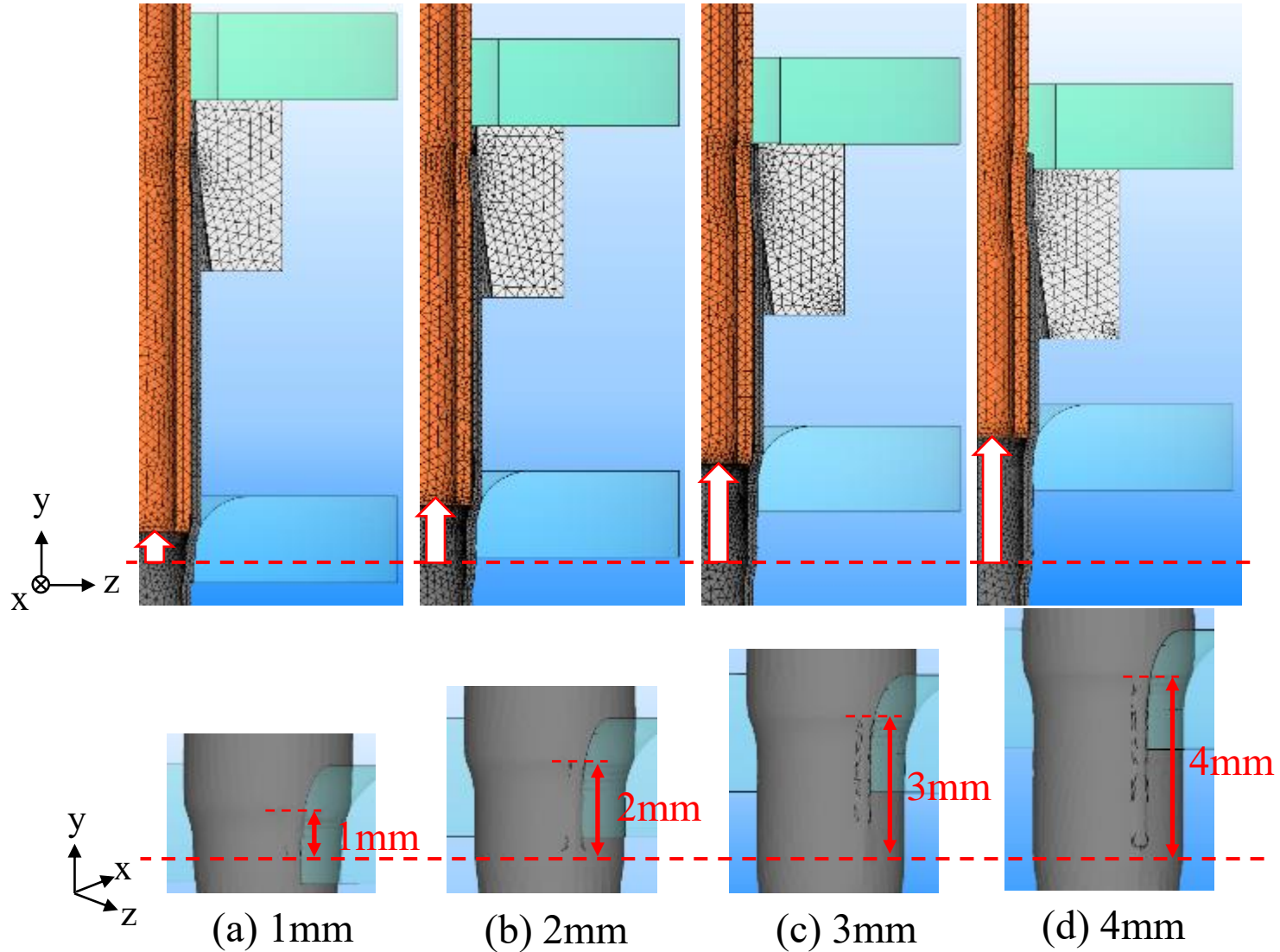
内配管の浮き量毎のカシメ工具動作ストロークと荷重の計算結果

解析結果

・実現象と同等で、内配管の浮き量に応じ外配管のつぶれが発生



全体図



内配管の浮き量毎の形状変化についての計算結果

まとめ

1. 接続前に行う拡管(前工程)から連携計算をおこない、残留ひずみを考慮することで計算精度が格段に向上した解析モデルを構築
2. 配管形状のばらつきを考慮したカシメ解析により、実験では確認しにくい公差内の寸法バラツキに対しシール性を担保することができた
3. 配管浮き時の不良現象である配管つぶれ現象について、カシメ工具の荷重プロットおよび時間変化における形状変形の結果から、配管つぶれメカニズムを明確化
4. これら基本構築した解析技術を切削加工ギア部品の板鍛造工法への置き換え検討にも展開

要望

1. 上型の動作における荷重制御機能の追加
2. 複数計算結果を簡易に並列表示できるようなポスト機能の強化

ご清聴ありがとうございました

謝辞

AFDEXの導入サポートから解析の対応にあたり、
北尾様始め、JSOLの皆様には
大変お世話になり、ありがとうございました。

The image features a dark blue background with several geometric elements: a large light blue circle on the left side, a smaller light blue square in the top right corner, and a medium blue square in the middle right. The text 'Panasonic' is in white, and 'CONNECT' is in a light blue color, matching the circle and top-right square. The 'C' in 'CONNECT' is stylized with a loop.

Panasonic
CONNECT