

FEMによるプラズマ切断時の電極割れに関する力学的検討

大阪府立大学大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 正岡研究室 松本直博

研究概要

プラズマ切断とは？

切断対象物

造船、建設機械および橋梁関係の軟鋼材
小から中程度(約1mm~30mm)の鋼板

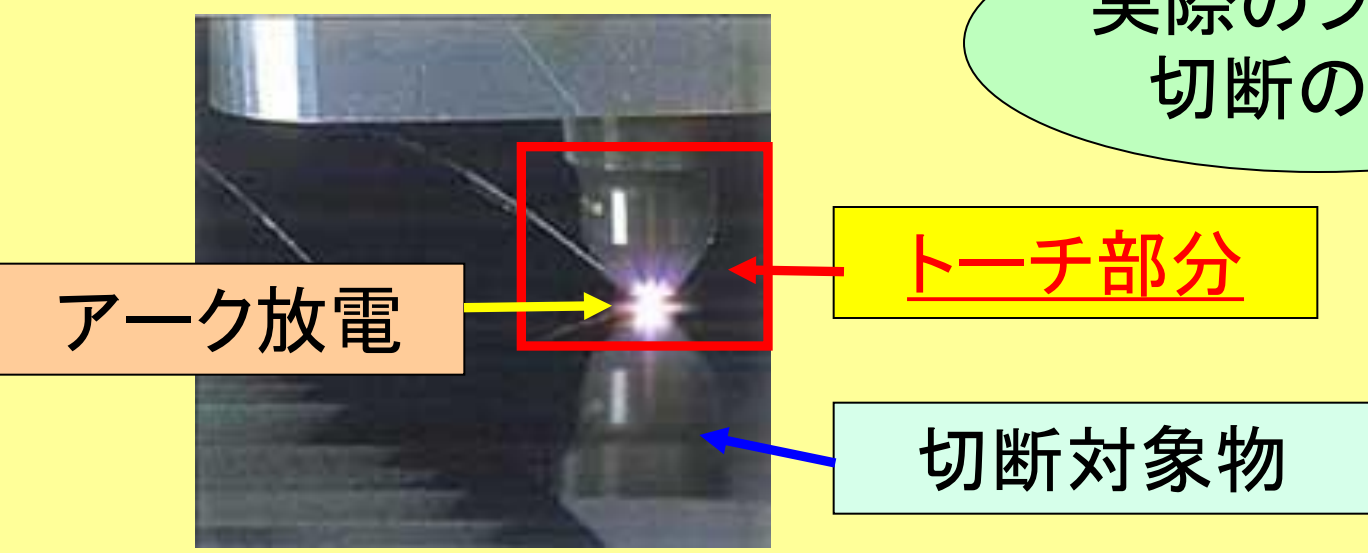
メリット

- 切断速度が速い
- 自動化が容易

特徴

ガス切断に比べ**高速かつ歪が少ない**切断が可能

実際のプラズマ切断の様子



研究目的

一般によく用いられる電極材料

ハフニウム (Hf)

消耗が早い

新たな電極材料

ハフニウムカーバイド (HfC)

高融点なので消耗は遅いが電極部分の割れが問題

HfC電極の割れを回避できると生産性が向上すると考えられる

本研究 電極形状等の諸因子がHfC電極の割れに及ぼす影響についてFEM熱弾塑性解析を用いて検討



電極部分の割れ

結論

本研究において、**電極高さ、電極幅及び冷却部寸法**等がプラズマ切断時のHfC電極割れに及ぼす影響についてFEM熱弾塑性解析を用いて検討を行った結果、以下の事項が確認された。

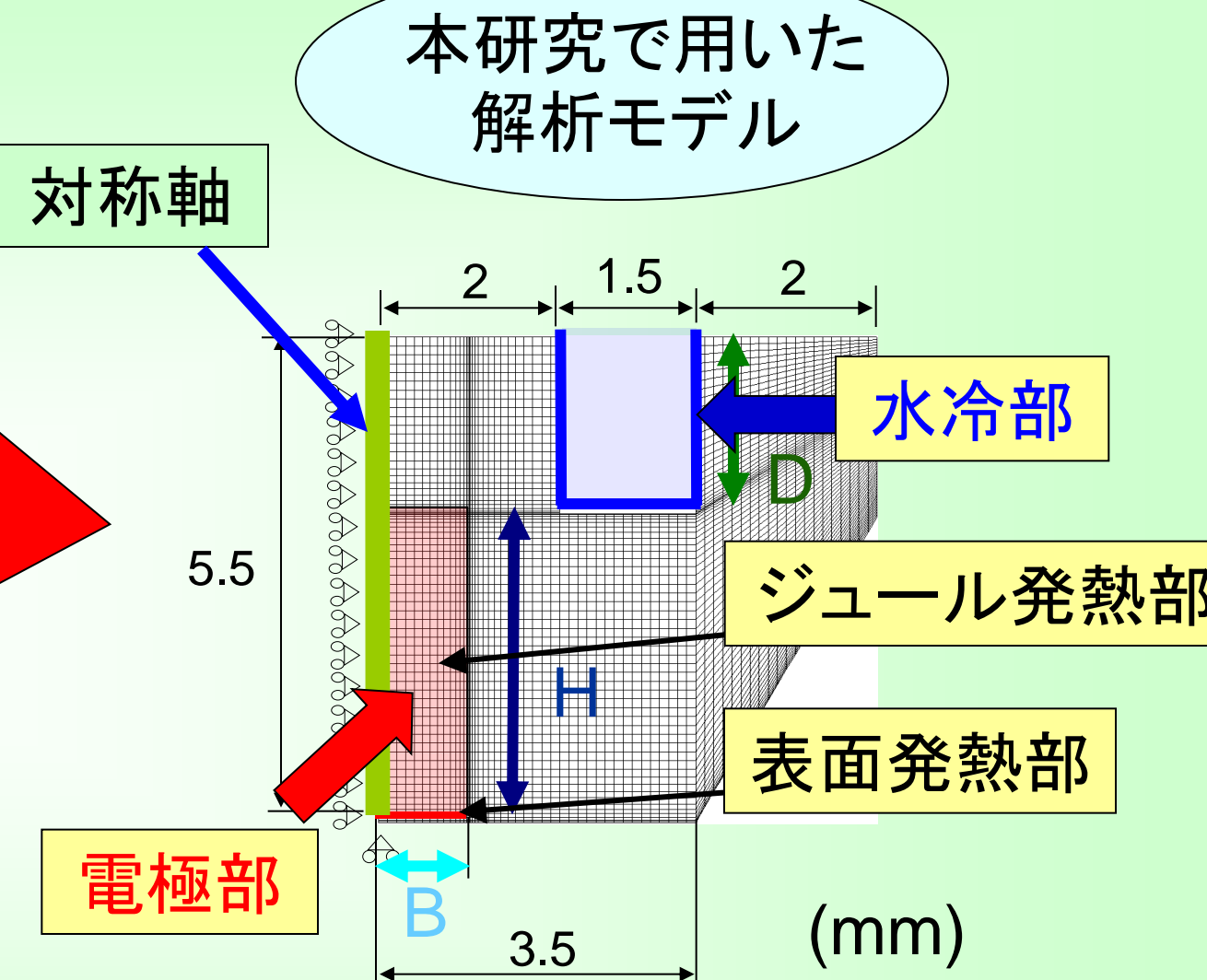
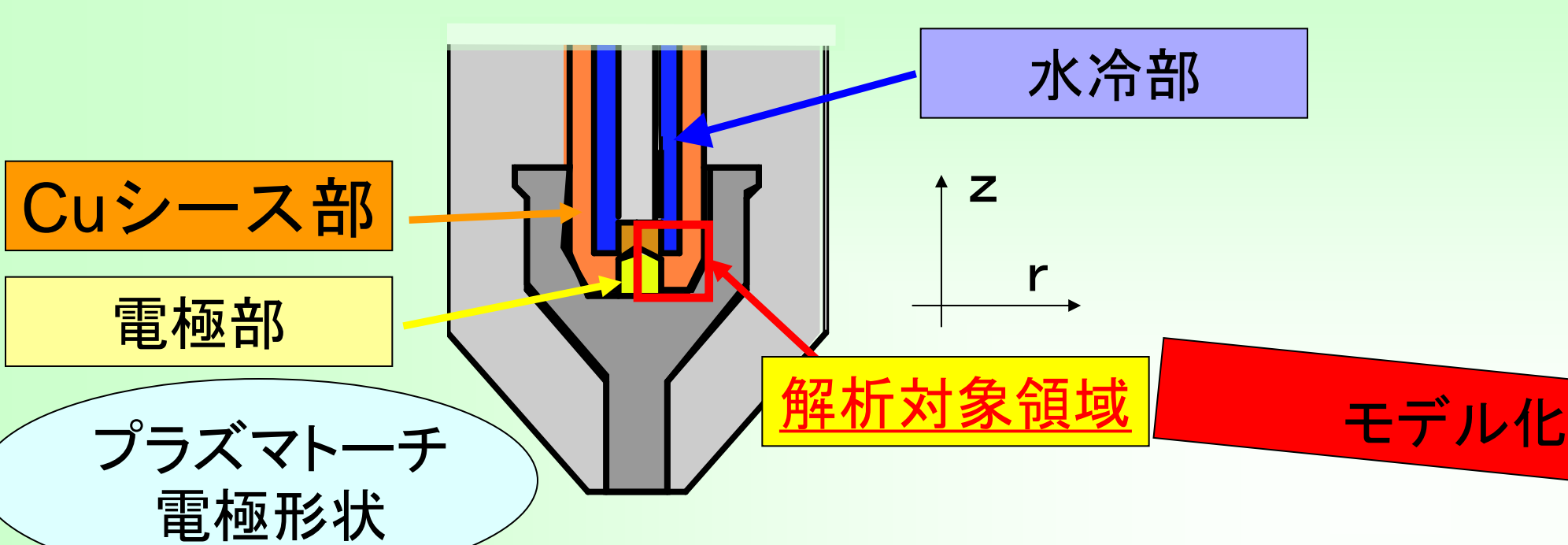
- 電極高さが小さいほど軸方向最大引張り応力が減少する事が分かった。
- 今回の解析では、電極幅が1.6mmの場合、軸方向最大引張り応力が最も高い事を確認した。
- 水冷部深さが小さいほど軸方向最大引張り応力が小さくなる事が分かった。
- 割れの発生と関連する応力発生メカニズムについて理論的に示すことができた。

FEM熱弾塑性解析を用いた検討により

割れの低減効果が期待できる

解析モデルおよび解析条件

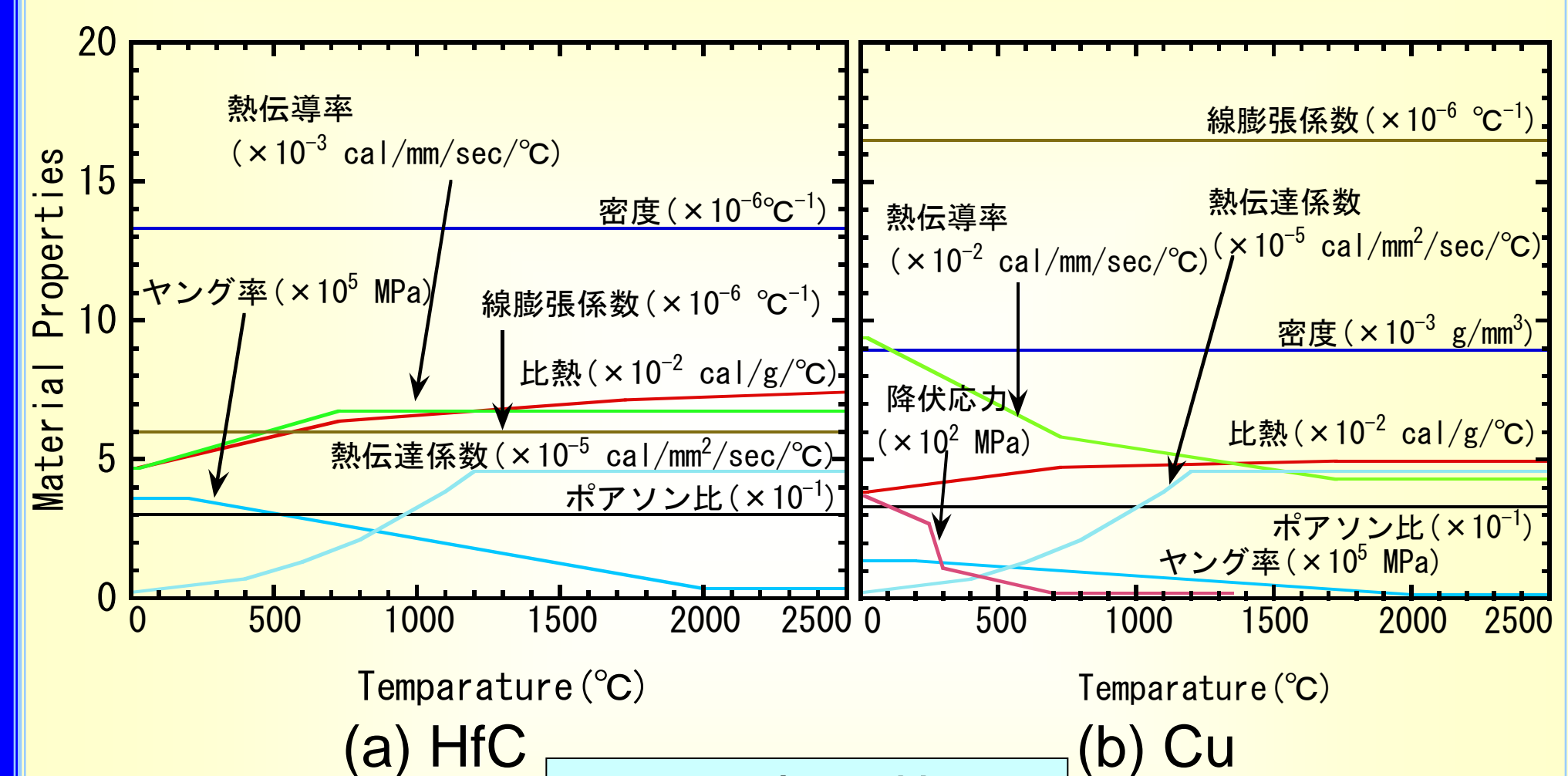
要素分割と形状・寸法



H: 電極高さ (0.1-3.5mm)
B: 電極幅 (0.5-3.0mm)
D: 水冷部高さ(0.01-5.0mm)

- 解析モデル: 左端を対称軸とする軸対称モデル
非定常熱伝導解析+非線形熱弾塑性解析
- 入熱方法: 電極先端部を表面発熱
電極内部をジュール発熱
- 強制冷却部: 熱伝達係数 ∞
- 電極周辺: 熱伝達表面と仮定

材料定数の温度依存性



HfC電極の特徴

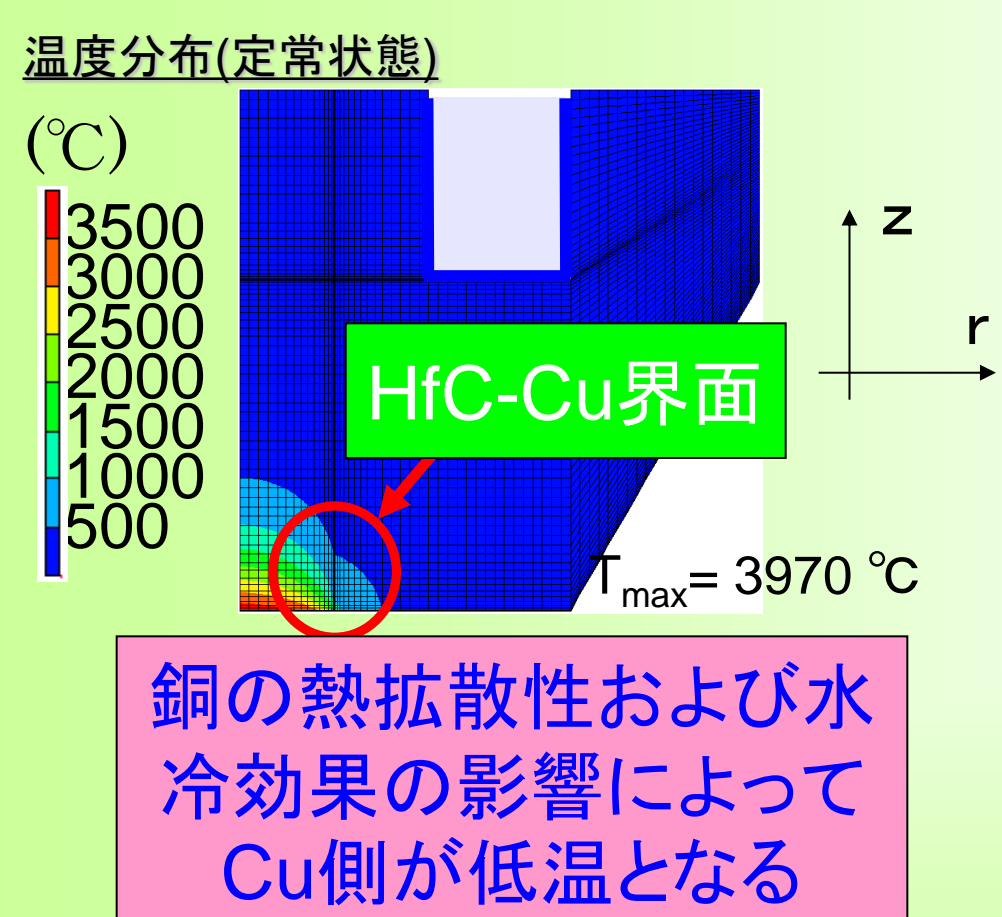
ヤング率 : 高
熱伝導率 : 低
線膨張係数 : 低

解析結果および考察

定常状態における温度・応力分布

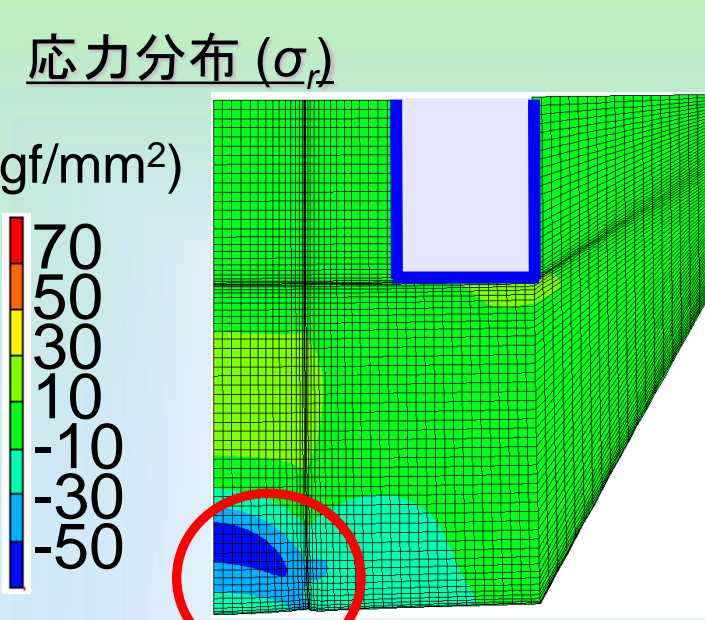
定常状態とは？

入熱と、熱の拡散・伝達がつりあう状態

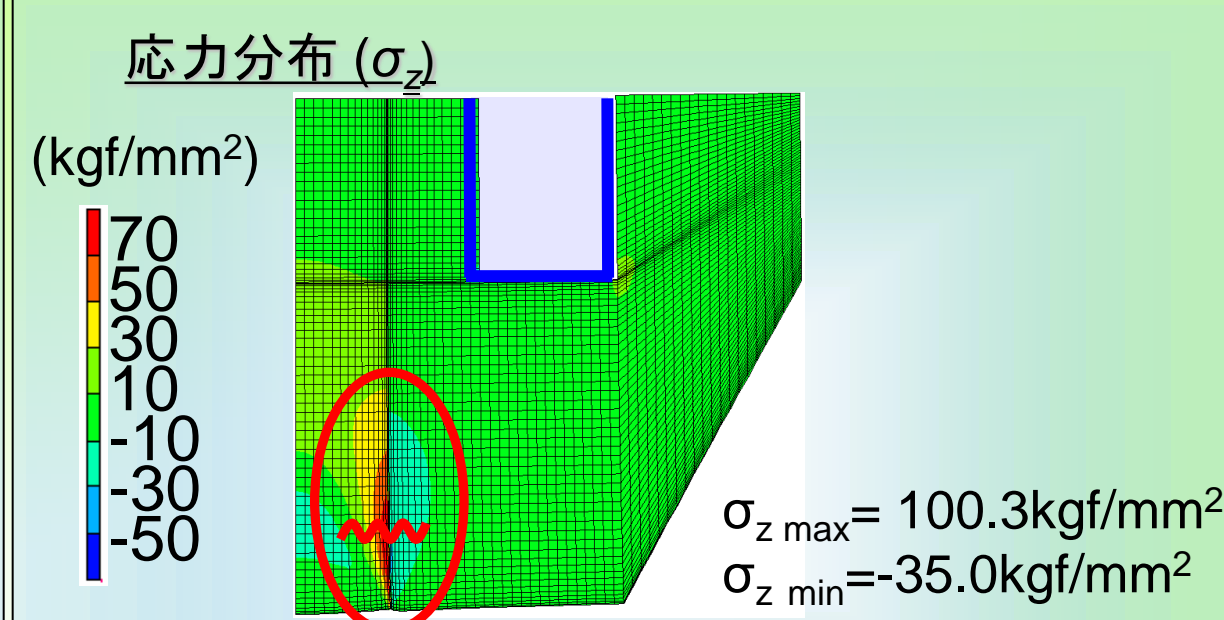


銅の熱拡散性および水冷効果の影響によってCu側が低温となる

B: 1.0mm
H: 3.5mm



HfC電極に大きな圧縮応力が発生



横割れの原因と考えられる軸方向引張り応力が発生

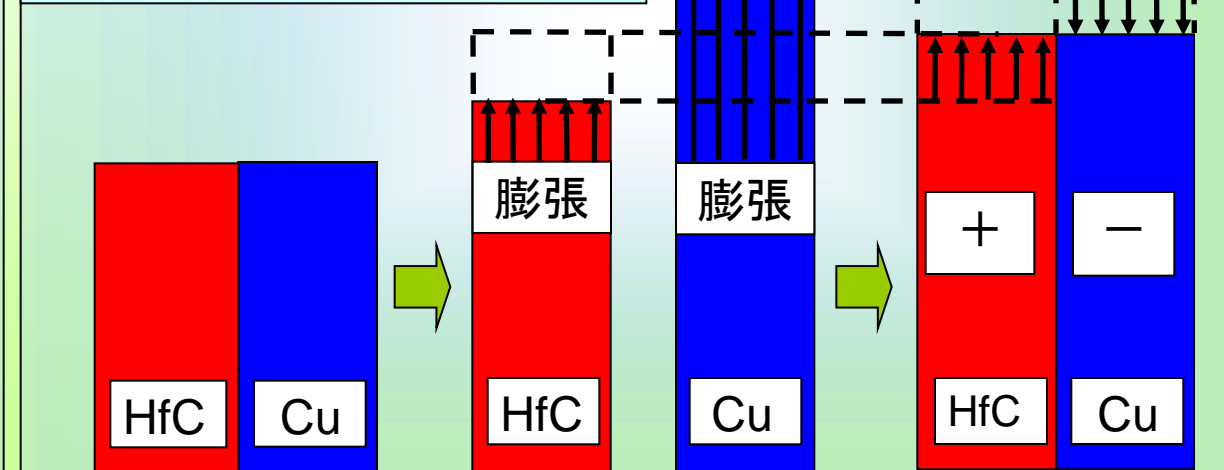
半径方向圧縮応力発生メカニズム

HfC電極の熱膨張により圧縮応力が発生

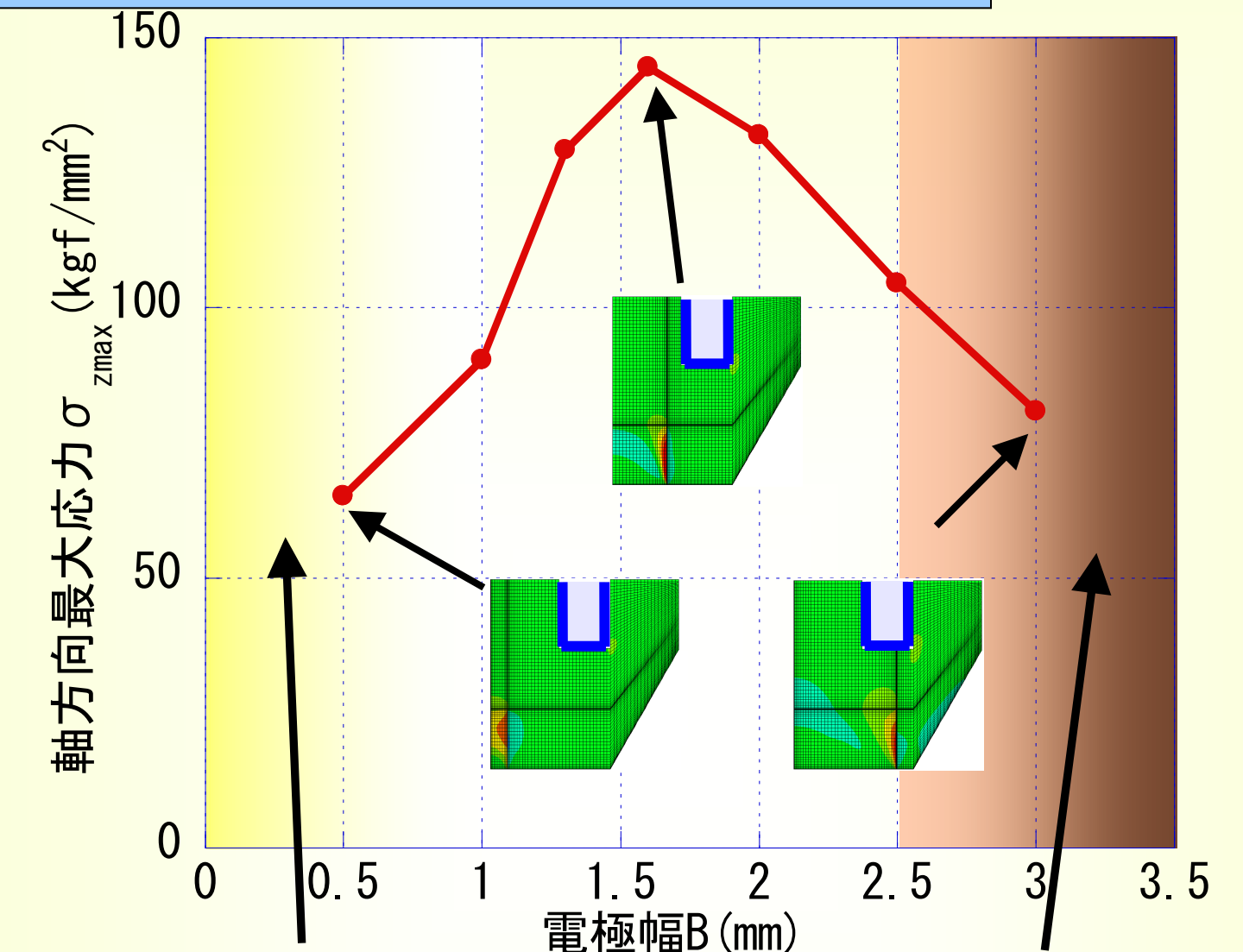
軸方向引張り応力発生メカニズム

線膨張係数の差によりHfC側に引張り応力が発生

界面は連続なので膨張量は等しい



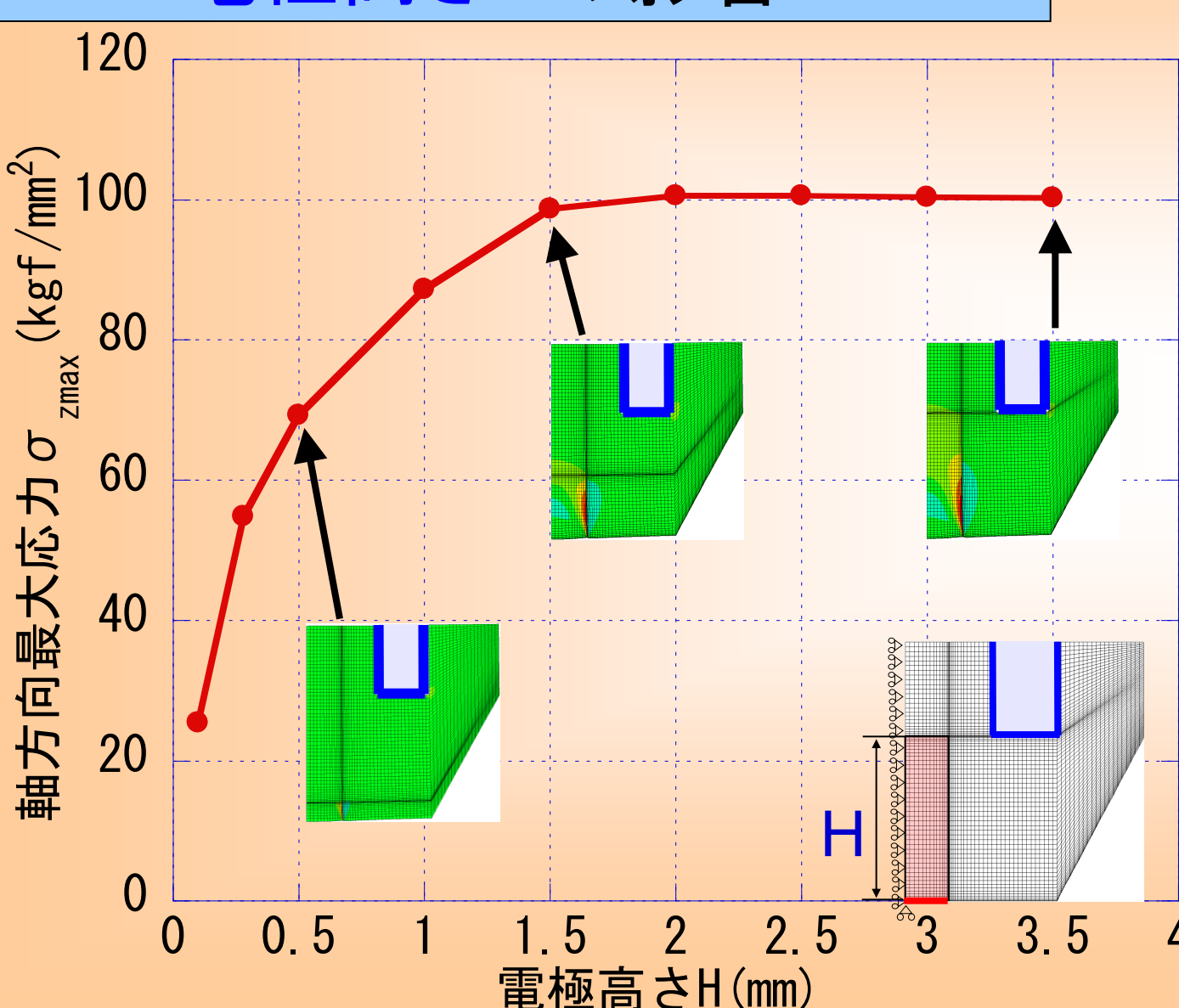
軸方向最大応力 σ_{zmax} に及ぼす電極幅Bの影響



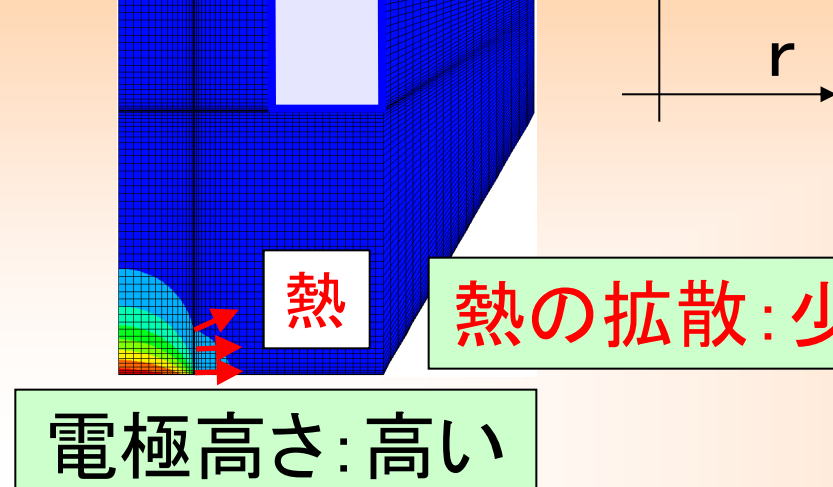
- ①熱の集中による温度の上昇 → 電極の消耗
- ②アークの発生が不安定 → 切断精度に影響

- ①②の制約は受けるが電極幅Bが大きい程、また小さい程、軸方向最大引張り応力が小さくなる。
- 電極幅が1.6mmの場合、軸方向応力が最も高くなる。

軸方向最大応力 σ_{zmax} に及ぼす電極高さHの影響



温度分布(定常状態)



電極高さ: 高い

熱の拡散: 少ない

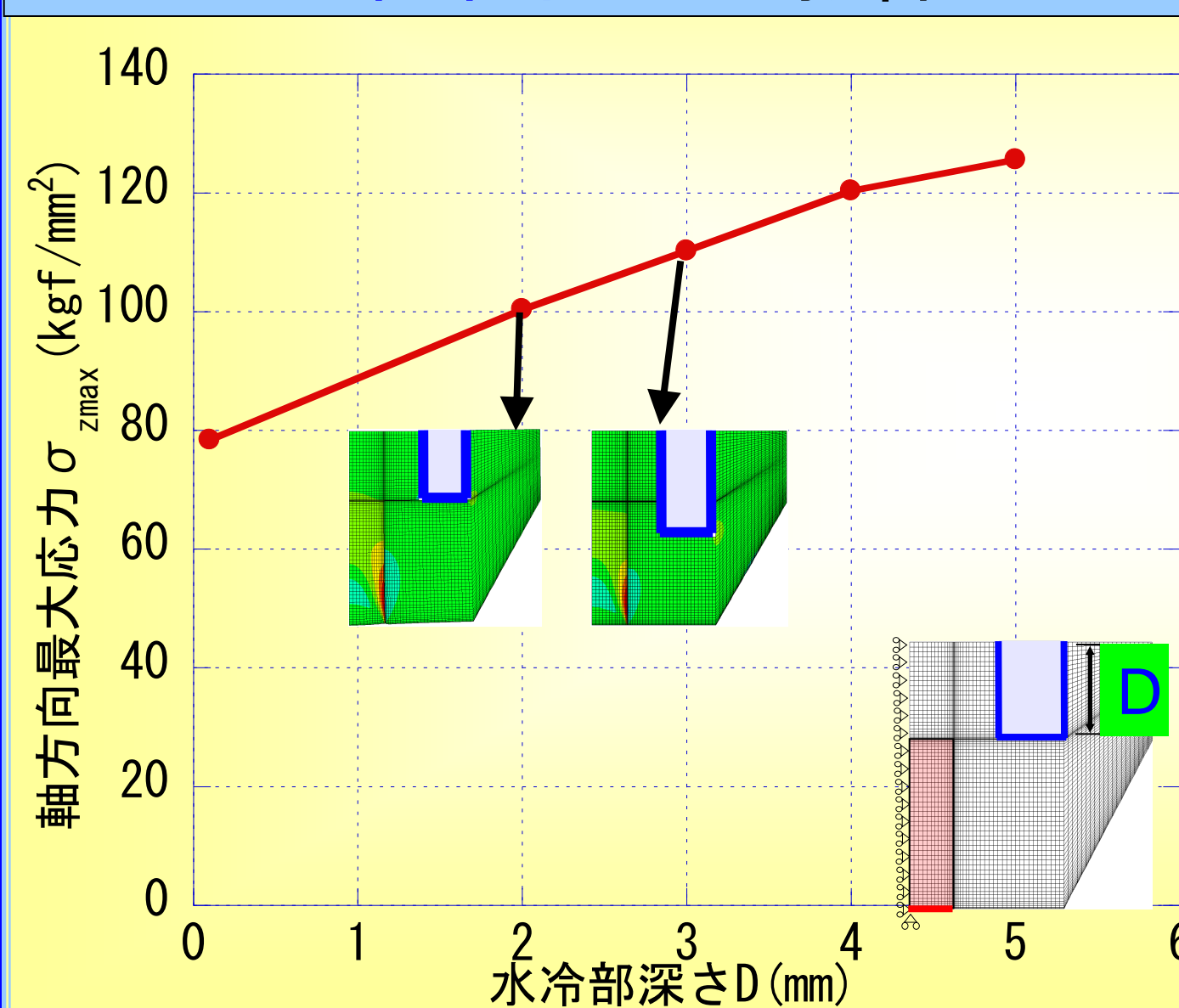
電極高さ: 低い

熱の拡散: 多い

銅シース部分の冷却効果による温度低下

軸方向最大引張り応力が小さくなる

軸方向最大応力 σ_{zmax} に及ぼす水冷部深さDの影響



水冷部深さD: 小

電極の剛性上昇に伴い、軸方向引張り応力が低下