

交流アークがトオリ線断線時間に 与える影響

電力技術研究部 電車線構造研究室
研究員 和田 祥吾

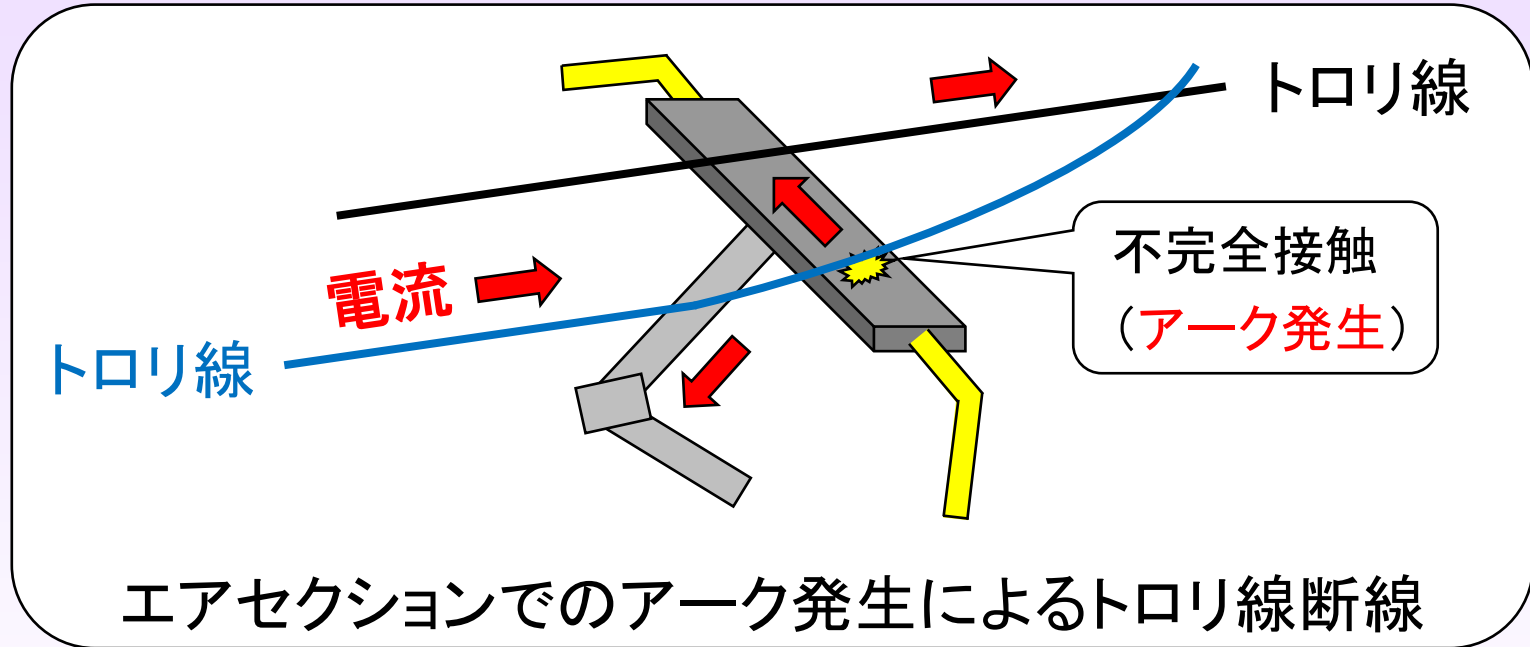


本日の発表

1. 研究背景、目的
2. アーク効率
3. アークによるトロリ線断線実験
4. 熱伝導解析によるアーク効率の同定
5. トロリ線断線に対する評価指標の導出
6. まとめ

研究の背景

□ 新幹線（交流き電）のエアセクションでトロリ線断線事故が発生



- 直流アークがトロリ線を断線させる条件は研究事例が多い
- **交流アーク**に関しては研究事例が見当たらない
⇒ 交流アークでトロリ線断線は発生し難いと思われていた
(直流と比較し、負荷電流が小さく、ゼロクロスがあるため)

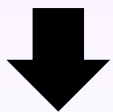
研究目的

交流アークがトロリ線を断線させる条件を明らかにし、
定量的な評価指標を確立する

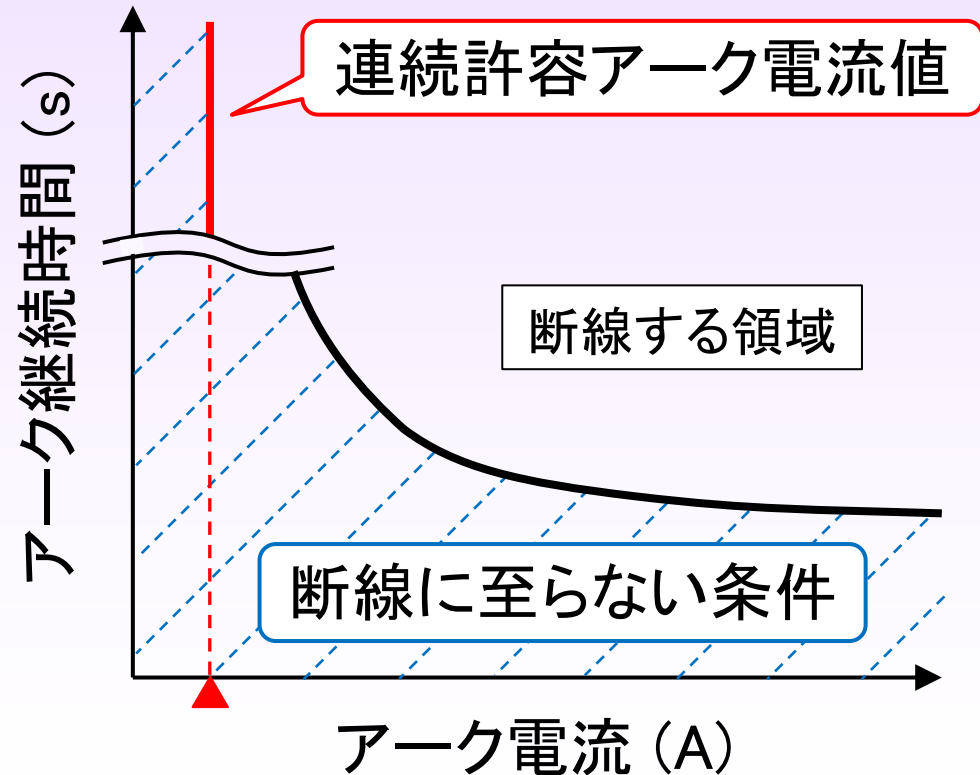
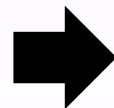
アーク実験



熱伝導解析

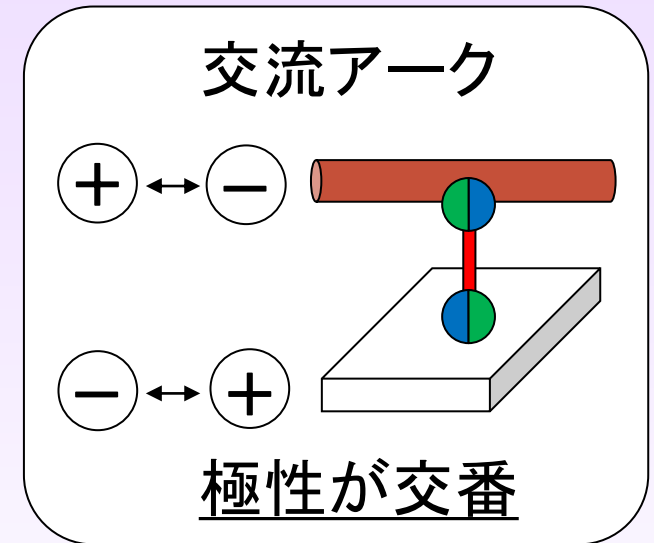
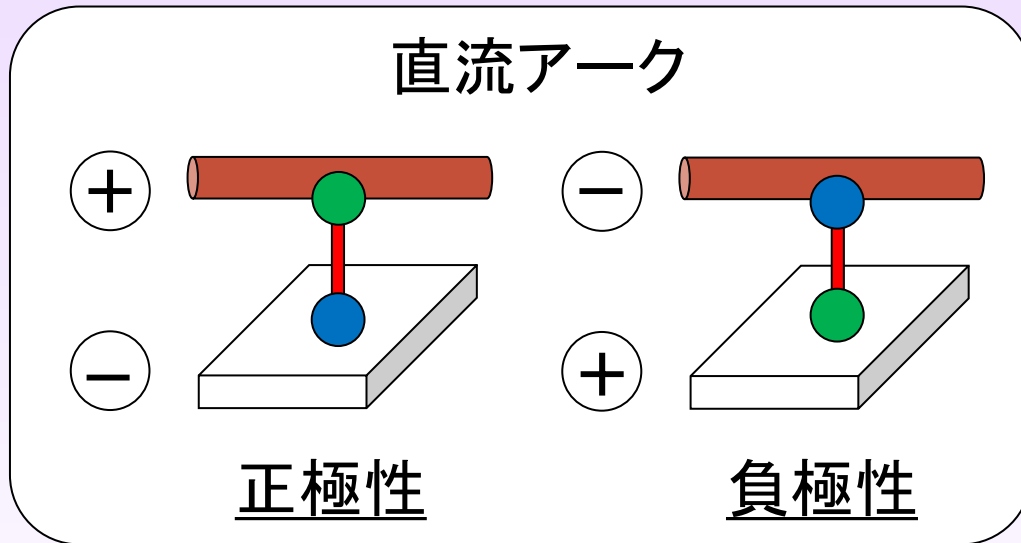


トロリ線温度上昇に寄与するアークエネルギー割合
(アーク効率 η)を同定



アーク効率

アーク効率 η = トロリ線温度上昇に寄与するアークエネルギーの割合

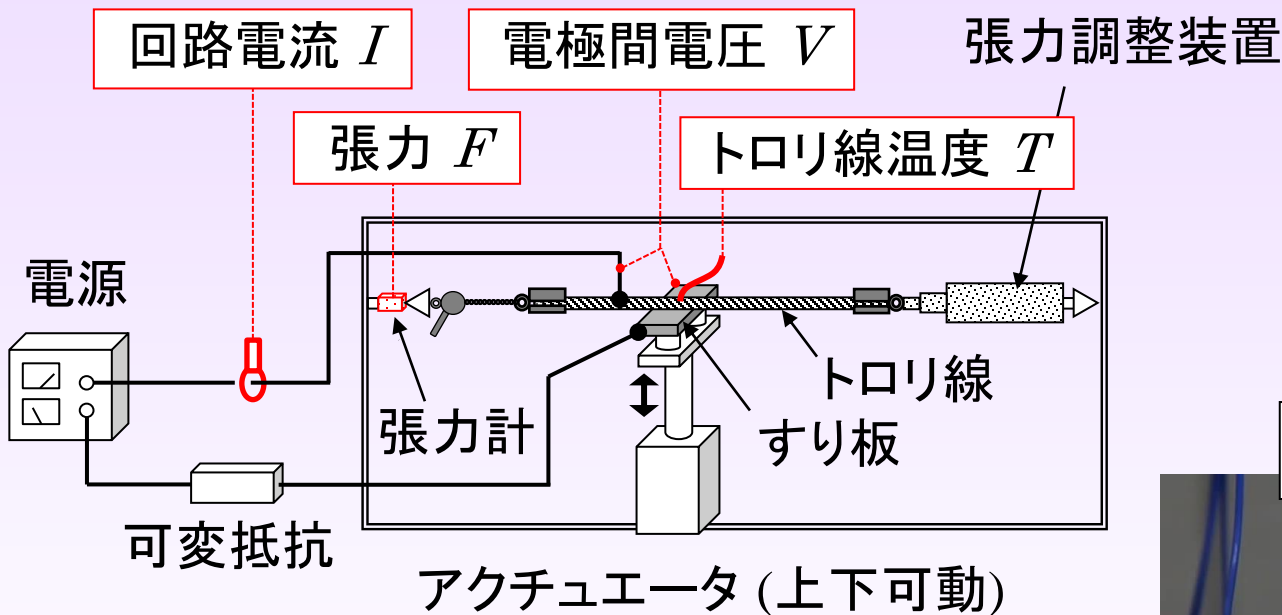


正極性アーク $\eta=60\%^{1)}$ 負極性アーク $\eta=40\%^{1)}$
(銅トロリ線とカーボン系すり板の組合せ)

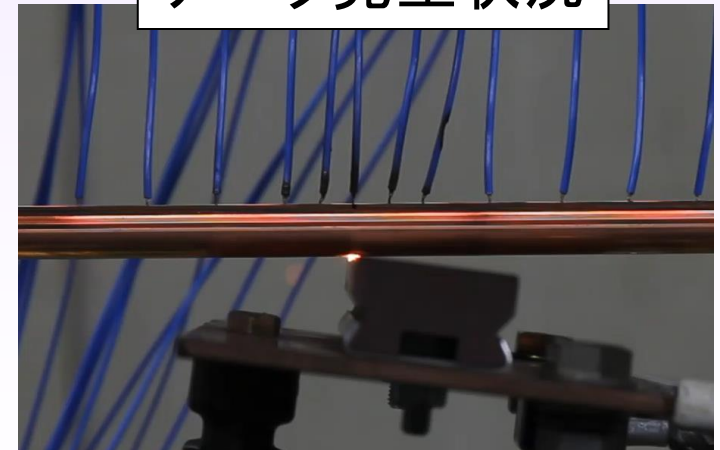
明らかになっていない

アークによるトロリ線断線実験装置

□ 通電中にすり板を降下することでアークを発生させトロリ線を断線



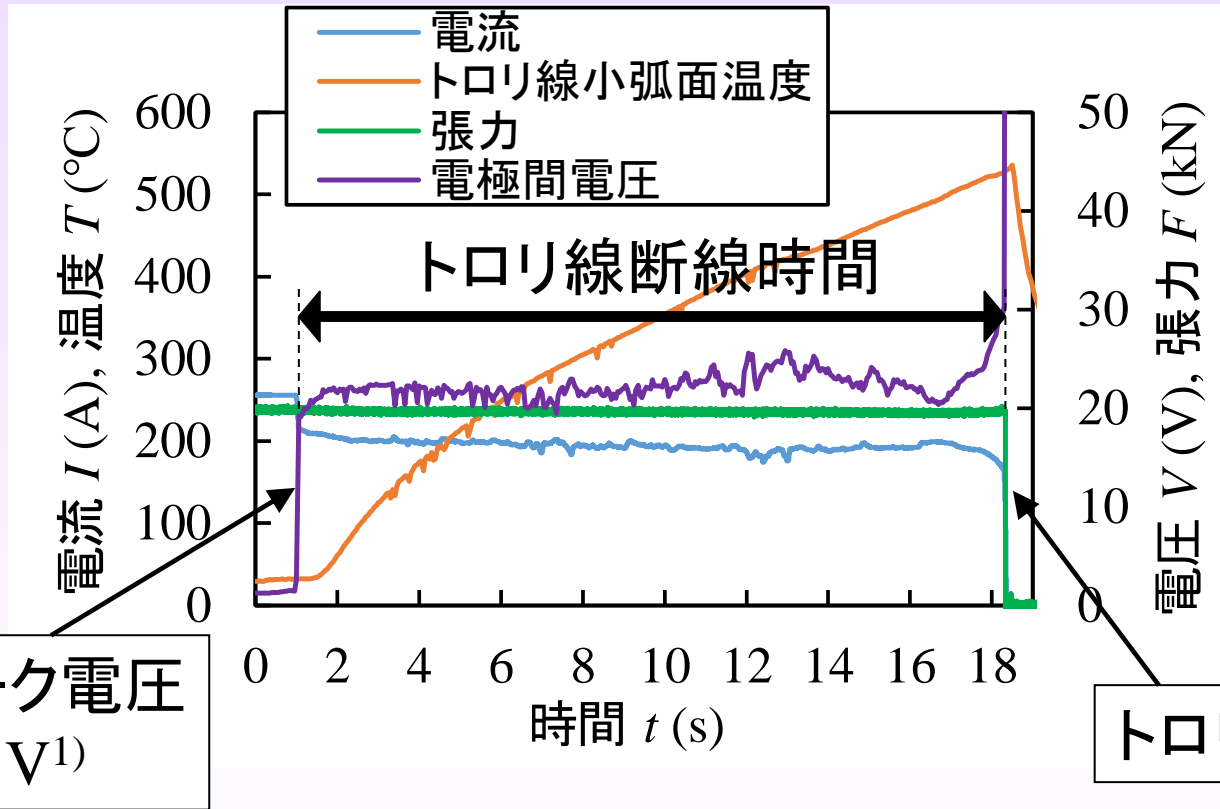
アーク発生状況



- トロリ線 : GT-SNN170 (19.6 kN)
- すり板 : カーボン系
- すり板降下距離 : 最大3 mm

測定波形とアーク電流、アーク電圧

□ 交流実効値95 V、255 Aでアークを発生させたときの測定波形

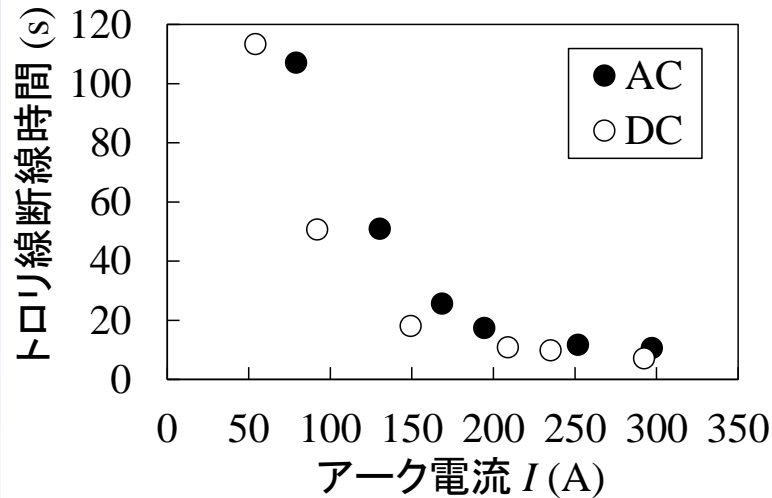


- アーク発生からトロリ線断線までの間の

回路電流の平均をアーク電流 I
電極間電圧の平均をアーク電圧 V

トロリ線が断線に至るまでの時間

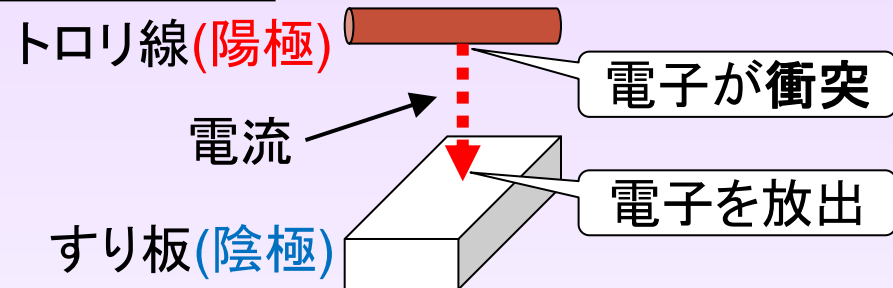
□ トロリ線断線時間



- 交流アークの方がトロリ線断線に時間を要する
⇒ 極性の交番による影響

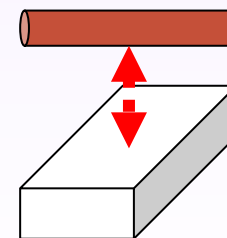
□ アークの極性と電極温度

直流アーク



一般に電極の温度は 陽極 > 陰極²⁾

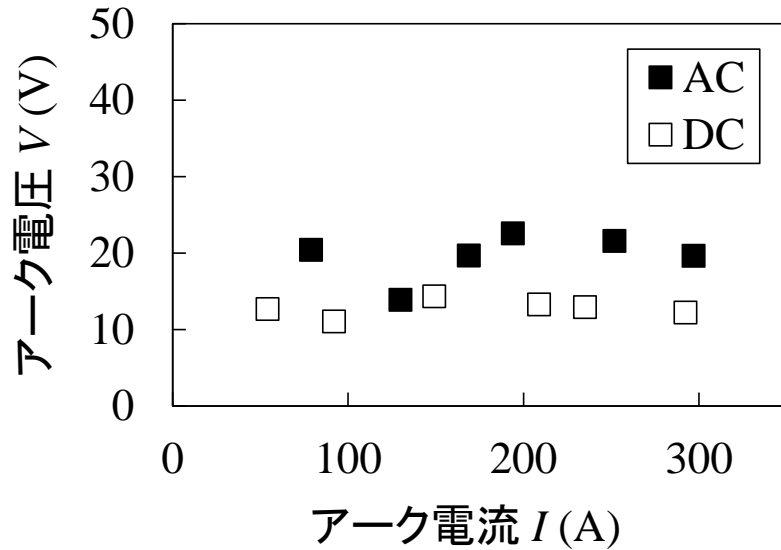
交流アーク



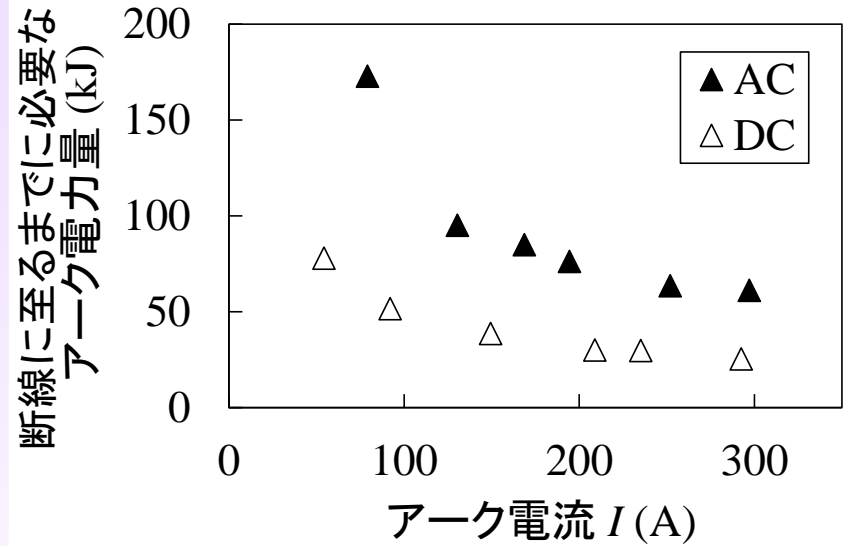
電極の極性が交番するため、直流アークよりもトロリ線電極の温度は低い

↓
トロリ線への入熱量が低い
ため断線に時間を要する

アーク電圧と断線に要する電力量



アーク電力量 $E=V \times I \times t$



□ 平均アーク電圧 {
 • 交流・・・**20 V**
 • 直流・・・**13 V**

- アーク電極の交番が電圧の差に影響
 ⇒ 極性で電極電圧降下は異なる³⁾
- 電流の交番によるアーク柱の膨張収縮での損失が影響⁴⁾

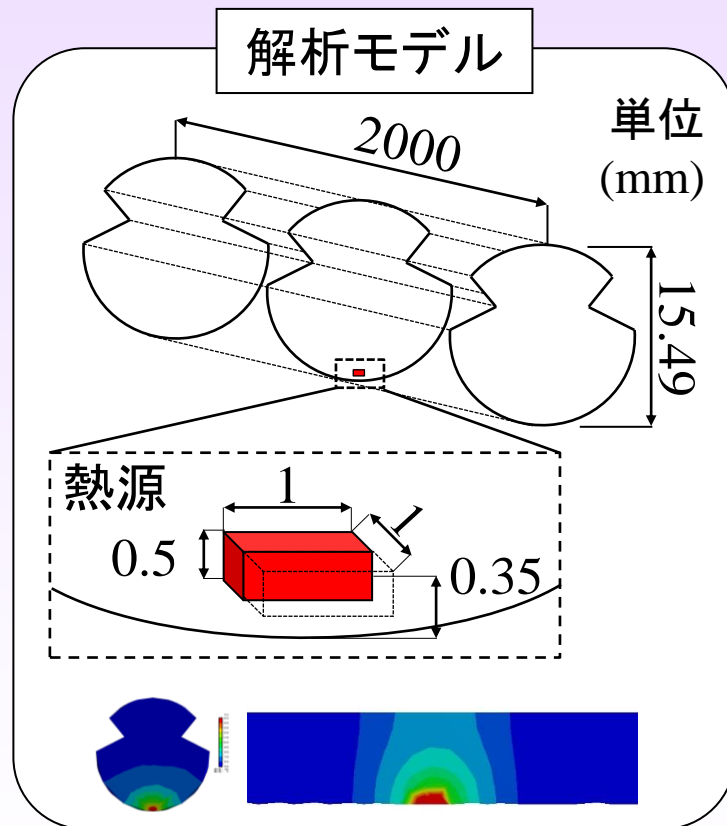
- トロリ線断線までに交流は直流の約2.5倍のエネルギーが必要
- アークによるトロリ線への入力エネルギーの効率



直流 > 交流

トロリ線の熱伝導解析モデル

□ 実験と熱伝導解析の比較により**アーク効率 η** を導出



✓ 熱源の発熱量 Q (W)

$$Q = I \times V \times \eta \quad \left\{ \begin{array}{l} I : \text{アーク電流 (A)} \\ V : \text{アーク電圧 (V)} \end{array} \right.$$

✓ 熱源のサイズ

トロリ線のアーク痕直径⁵⁾を考慮し設定

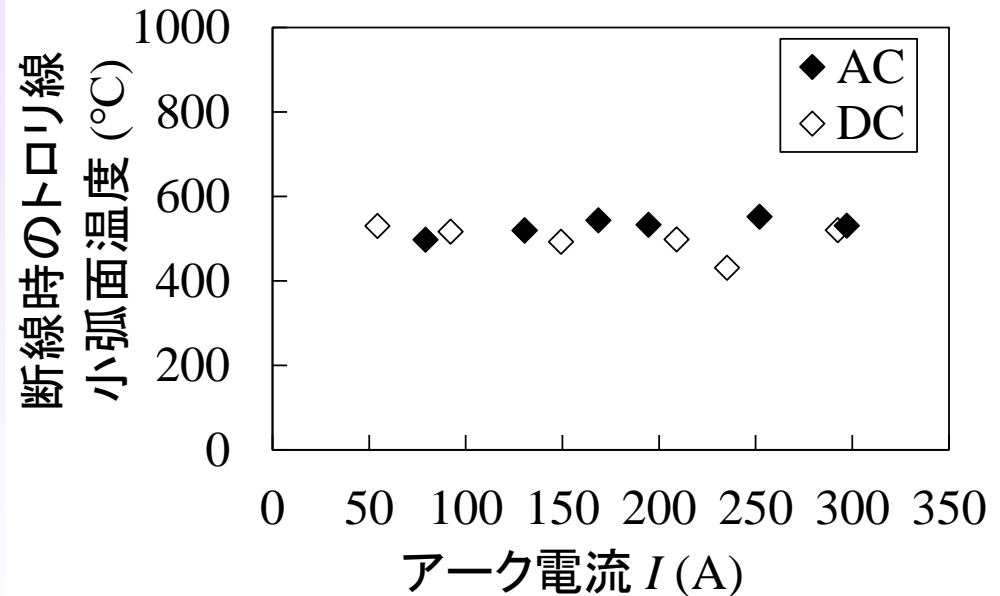
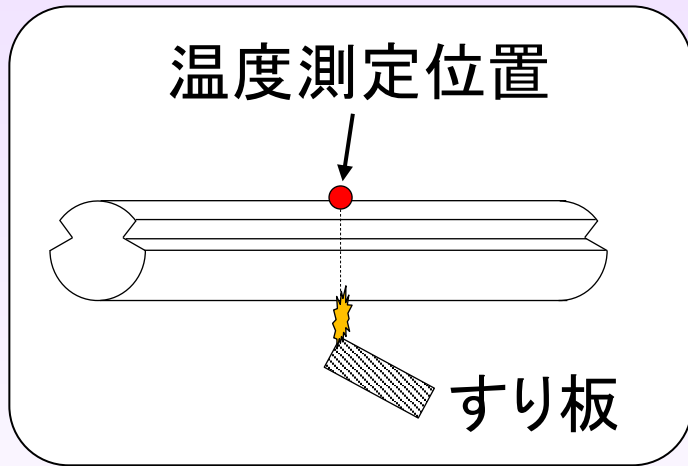
✓ 解析条件

トロリ線	放射率	比熱・ 熱伝導率	放熱形態
SNN170	0.2	実測値を 使用	自然対流

アークによりトロリ線が断線する温度

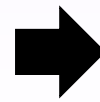
□ 断線した時のトロリ線温度を測定し、熱伝導解析に使用

断線時のトロリ線温度(実験結果)



断線時のトロリ線温度は

- 交流と直流で概ね同等
- 530°C程度になると断線



熱伝導解析では、トロリ線が断線する温度を**530°C**とした

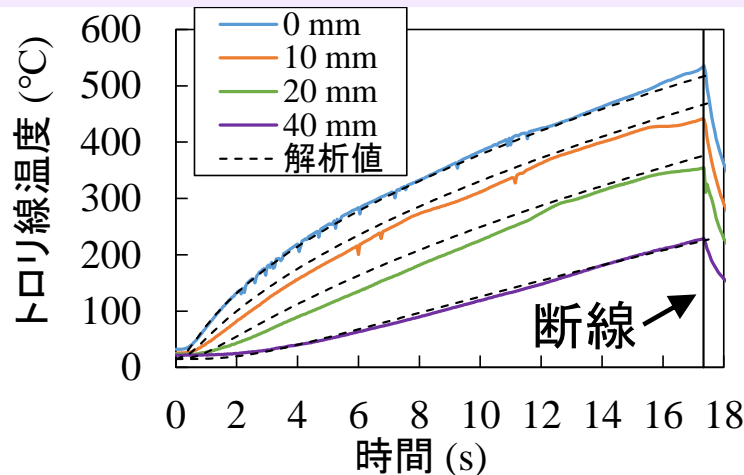
アーク効率の同定方法

- ① 熱源の発熱量 Q を変えて過渡熱伝導解析
⇒ トロリ線の温度上昇傾向と温度分布が実験値と一致する Q の値を探索

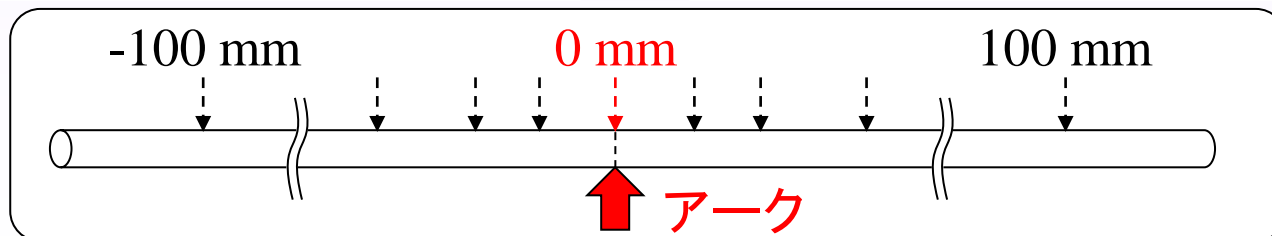
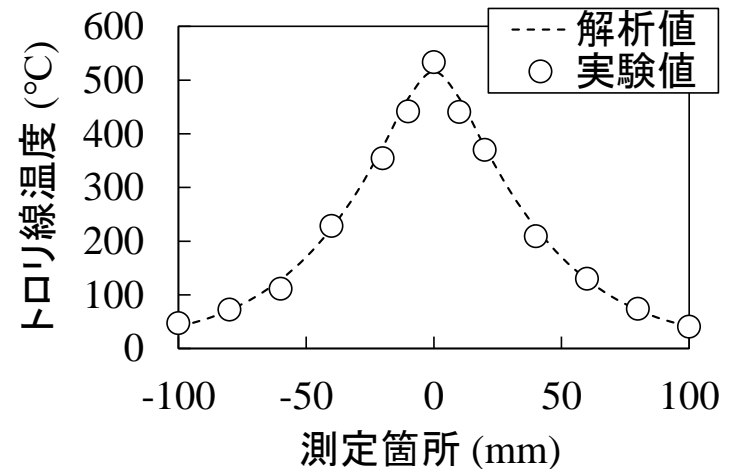
- ② Q が決まると、 V と I に実験値を代入し η を同定

$$Q = I \times V \times \eta$$

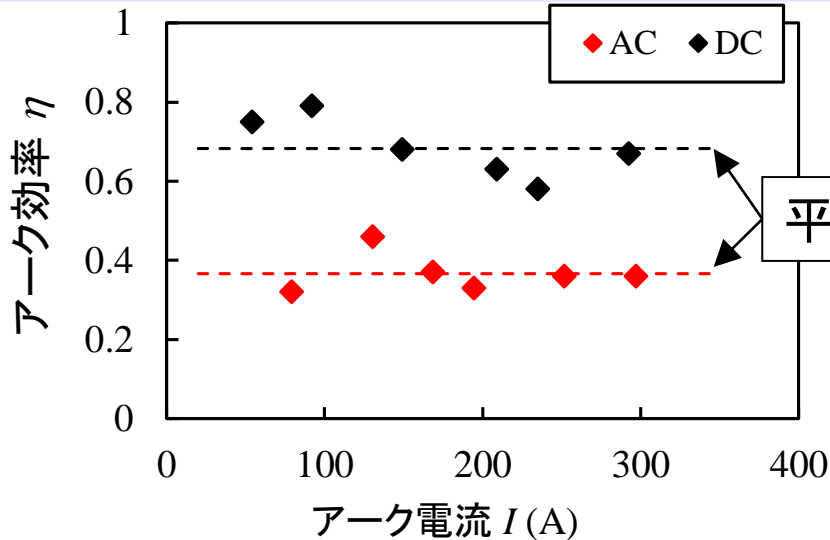
トロリ線小弧面温度上昇



断線時トロリ線軸方向温度分布



アーク効率の同定と断線に至らない条件の導出

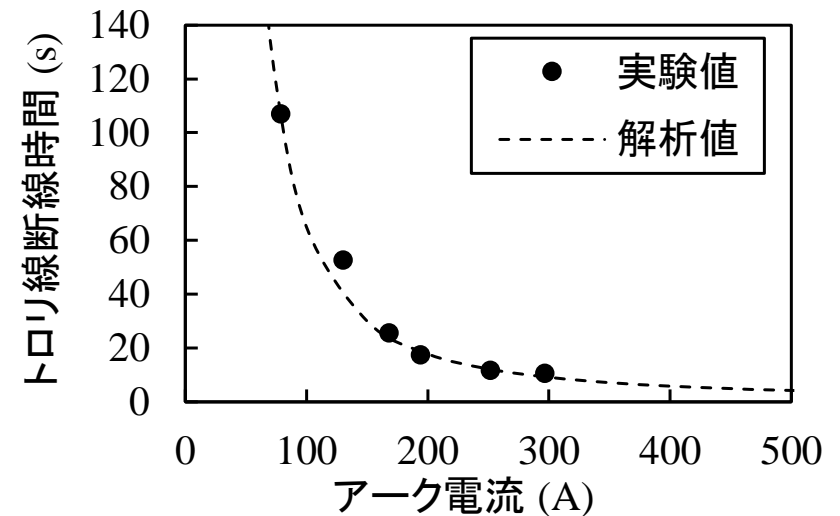


□ アーク効率 {
• 交流・・・**0.37**
• 直流・・・**0.68**

- トロリ線の入熱量を定量化できた

実験値と解析結果の比較(交流)

- 以下のパラメータで過渡熱伝導解析
 $V = 20$ 、 $\eta = 0.37$ 、断線温度 $T = 530^{\circ}\text{C}$



➡ 実験値と解析結果はよく一致

V 、 η 、 T が求めれば、
断線に至らない条件を導出可能

連続許容アーク電流値の導出方法

□ 連続アークが発生してもトロリ線が断線に至らない電流値 I_{\max} を導出

$$I_{\max} = \frac{Q_{\max}}{V \times \eta}$$

- ① 断線温度未満でトロリ線温度が飽和するときの発熱量 Q_{\max} を定常熱伝導解析で導出 (530°Cで断線の場合 $Q_{\max}=266$ W)
- ② V と η に本研究で得られた値を代入し I_{\max} を導出

本研究の解析条件における I_{\max} の試算

✓ 実験と解析で得られた以下のパラメータと解析条件で試算

(交流) $Q_{\max}=266$ $V=20$ $\eta=0.37$

(直流) $Q_{\max}=266$ $V=13$ $\eta=0.68$

トロリ線 すり板	放射率	比熱・熱伝導率	放熱形態
SNN170 PC78A	0.2	実測値を使用	自然対流

□ 連続許容アーク電流 I_{\max} $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ 交流} \cdots 36 \text{ A} \\ \bullet \text{ 直流} \cdots 30 \text{ A} \end{array} \right.$

まとめと成果の活用

- 交流アークは直流アークよりもトロリ線断線に時間を要する
 - 交流アークのエネルギーがトロリ線の温度上昇に寄与する割合を導出した
 - 交流アークがトロリ線を断線させる現象に対し、以下の評価指標の導出手法を提示した
 - ・アーク電流とトロリ線が断線するまでに要する時間の関係
 - ・アークが発生してもトロリ線が断線に至らない電流値
- 交流アークによるトロリ線断線対策の評価指標として活用する

参考文献

- 1) 林屋:「架線ーパンタグラフ間アーク現象」, 日本鉄道電気技術協会, pp.107-111 (2007)
- 2) Angel, A. v.:「電離気体」(山本他 訳), コロナ社, pp.254-256 (1968)
- 3) Myer, J.L.; *Sondenmessungen am Lichtbogen in Luft bei atmosphärischem Druck*, Z.Phys., 87, 1(1933)
- 4) 安藤他:「溶接アーク現象」, 産報, pp.128-129 (1973)
- 5) 早坂他:「開離時アーク放電がトロリ線表面に及ぼす影響」, 電気学会論文誌D, Vol.135, No.4, pp.327-334 (2015)