

風力発電設備 事故発生原因の検討

電力中央研究所 横山 茂

ブレードの被害の効果的な対策のためには、事故の様相毎に、できるだけ正しく原因を究明することが、重要である。また、事故原因の解明、対策の効果の解明のための実験的検討は、冬季雷の特性などを把握したうえで、十分試験法を検討する必要がある。

1. ブレード一次事故様相

- (1) 着雷時のブレードの爆裂、飛散
- (2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷
- (3) レセプタ（受雷部）の溶損、脱落
- (4) 引下げ線等の接続部の断線、焼損

2. 考えられる原因

- (1) ブレードの爆裂、飛散
 - ・レセプタがないためブレード絶縁部に着雷、放電がブレード空洞部に侵入
 - ・電荷量の大きな雷電流による空気の膨張
(レセプタと引下げ導線があれば、瞬間的な爆裂は防げる可能性大。)
- (2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷
 - ・レセプタに放電する際に沿面放電（または、沿面放電して雷雲に向かって放電）
 - ・ブレードの汚損部分に着雷
 - ・レセプタで捕捉したが、多重雷（長時間雷撃）と風車ブレードの回転により放電箇所移動
 - ・アジマス角と雷放電の極性の影響
- (3) レセプタ（受雷部）の溶損、脱落
 - ・電荷量の大きな雷電流
- (4) 引下げ線等の接続部の断線、焼損
 - ・不完全な接続
 - ・電荷量の大きな雷電流

3. それぞれの対策手法

- (1) ブレードの爆裂、飛散
 - ・レセプタの装備
- (2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷
 - ・レセプタの受雷面積の増加、複数のラウンドレセプタなど

- ・被害拡大を防ぐ保守点検、着雷検出による対応

(3) レセプタ（受雷部）の溶損、脱落

- ・レセプタの重量の増加

- ・早期交換

(4) 引下げ線等の接続部の断線、焼損

- ・とにかく不完全な接続部を作らない。

4. 対策方法の効果の実証

(1) ブレードの爆裂、飛散

・**長ギャップ放電試験**により着雷位置の確認、しかし長ギャップ放電試験の有効性が、完全には証明できない。最終的には、実風車での観測、対策品のフィールド・テスト

- ・**大電流試験**で、放電電荷量と空気圧の関係を明らかにする。

(2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷

- ・**長ギャップ放電試験**により着雷位置の確認

(3) レセプタ（受雷部）の溶損、脱落

・**大電流試験**で、放電電荷量とレセプタ金属部の溶損量、周囲の温度上昇の関係をあらかじめにする。

(4) 引下げ線等の接続部の断線、焼損

- ・**大電流試験**で、放電電荷量と接続部の断線、焼損の関係をあらかじめにする。

5. 試験法の問題点

(1) 長ギャップ放電試験

- ・実際の雷放電をどの程度模擬できるか？

- ・試験電極の形状と電圧の波形、極性

(2) 大電流試験

- ・比較的実規模の雷電流に近いもので試験できる。

- ・波形の影響

- ・レセプタの溶損、脱落などは実際のブレードでの個別試験が必要？

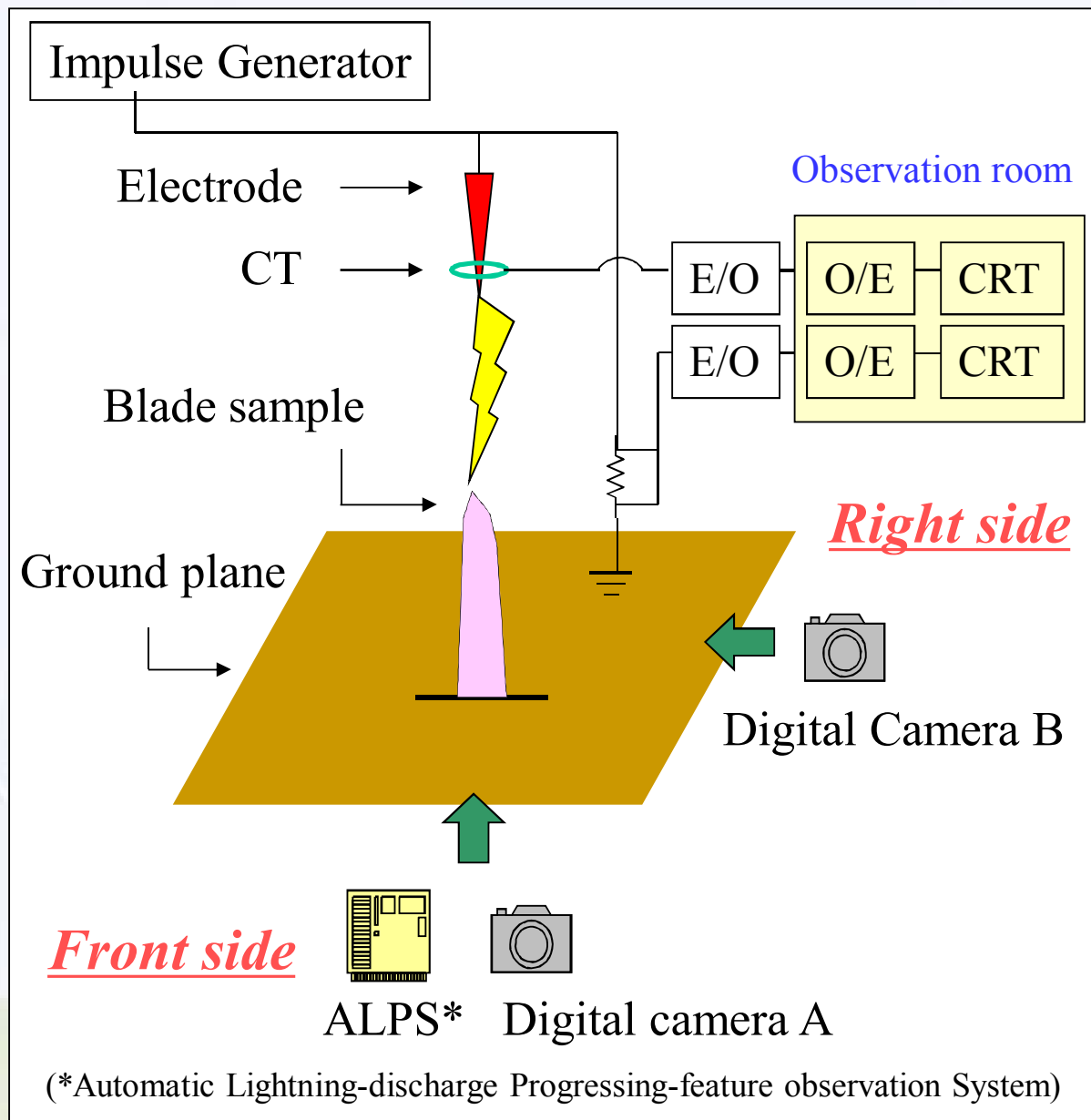
6. 冬季雷性状と事故

- ・ 上向き雷（トリガード雷）・・・被雷機会の増大
- ・ 大電荷量を持つ雷電流・・・空気の膨張、金属の溶損
- ・ 正極性雷の増加・・・レセプタでの雷放電捕捉困難
- ・ 雷電流波高値の大きい電流・・・絶縁破壊

実験設備



12MV Impulse Generator
(電力中央研究所 塩原実験場)

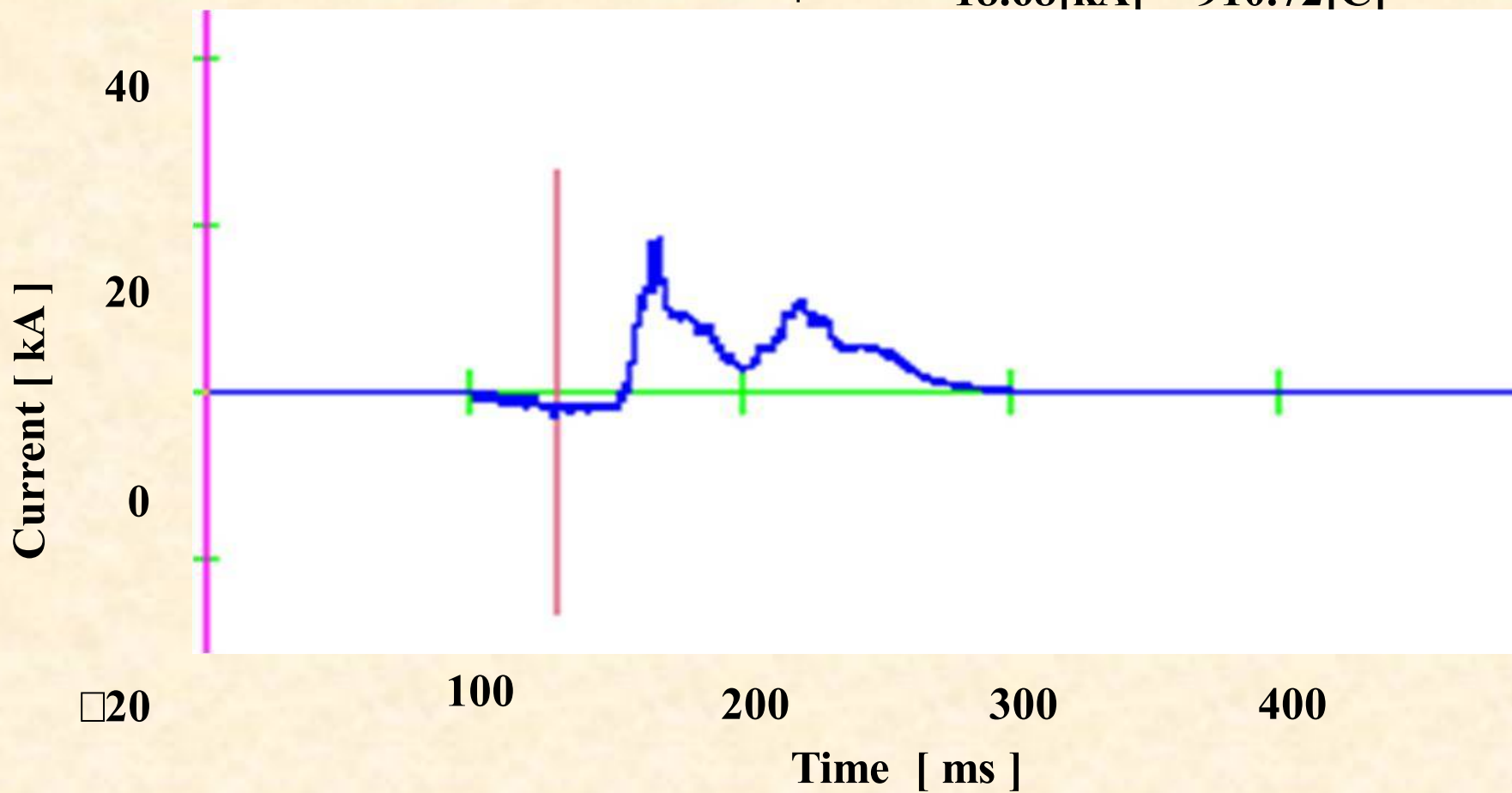


(1) 着雷時のブレードの爆裂、飛散



2005-12-25 21:42

+ 18.68[kA] 910.72[C]

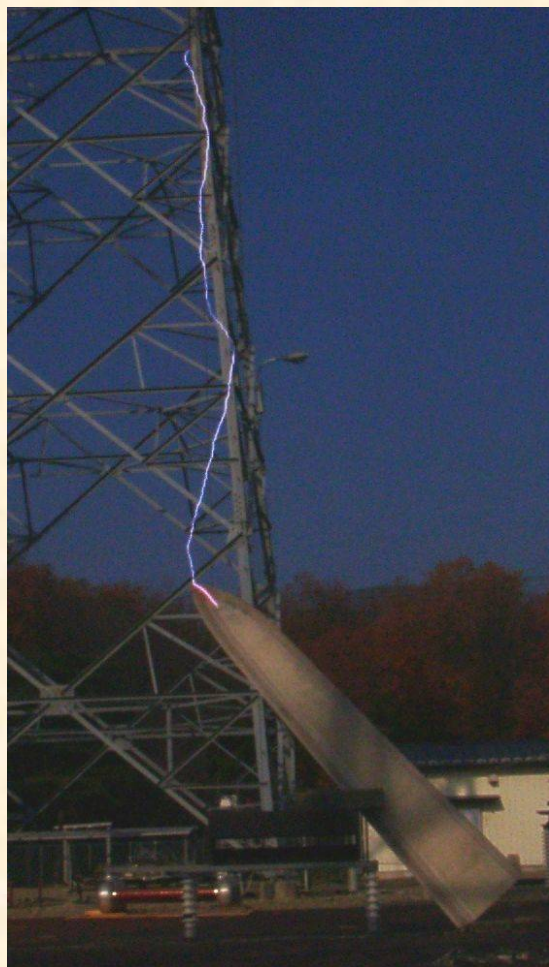


長時間継続雷電流の例

(2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷



斜め45°配置における放電様相

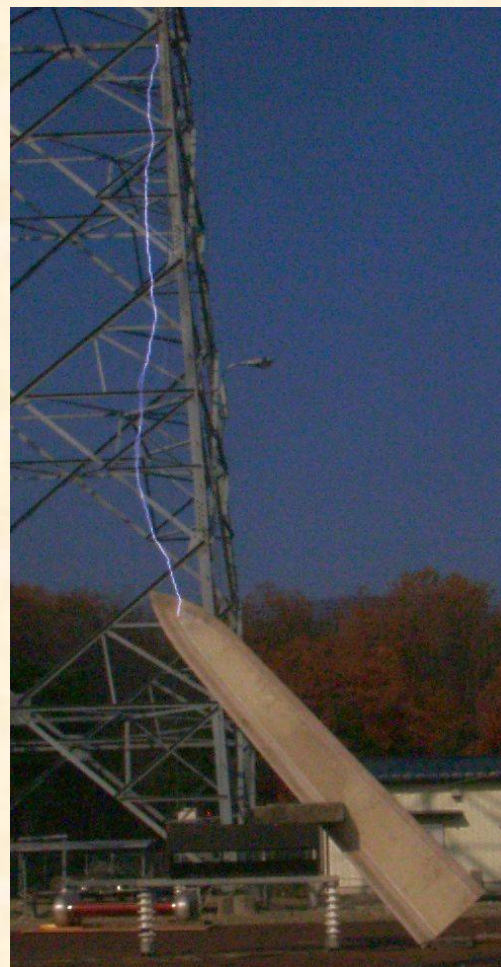


Front view



Right view

表面を進展しレセプタへ



Front view



Right view

レセプタ直撃

実験Ⅲ 先端コーティングブレードへの放電様相



試験結果			
波形	極性	避雷効果	回数
雷	正	○	15回
	負	○	20回
開閉	正	○	7回
		×	3回
	負	○	10回

銅テープへ放電

損傷発生

- 避雷効果は比較的高い
- 銅テープ下方で損傷発生



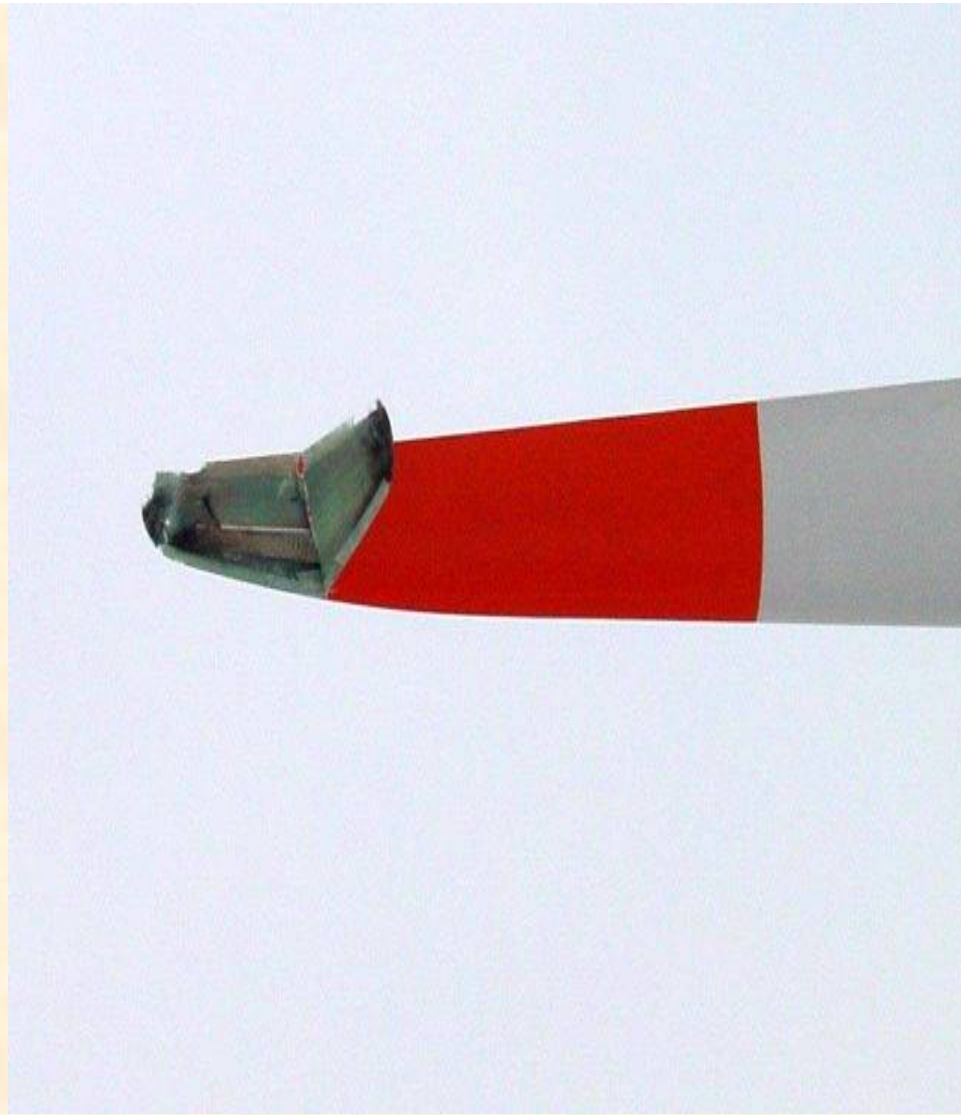
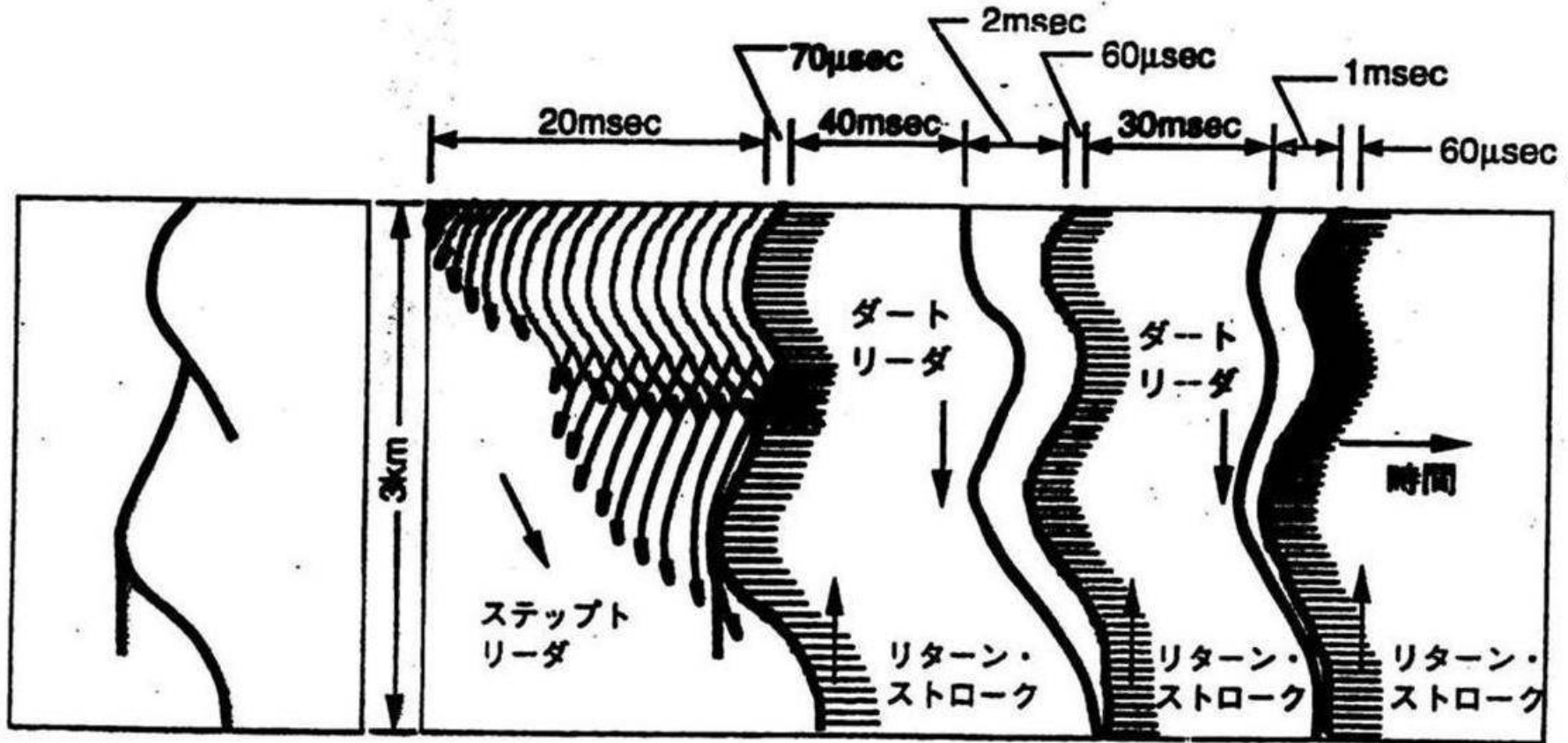


Fig.4 Surface Breakage of a blade without a receptor

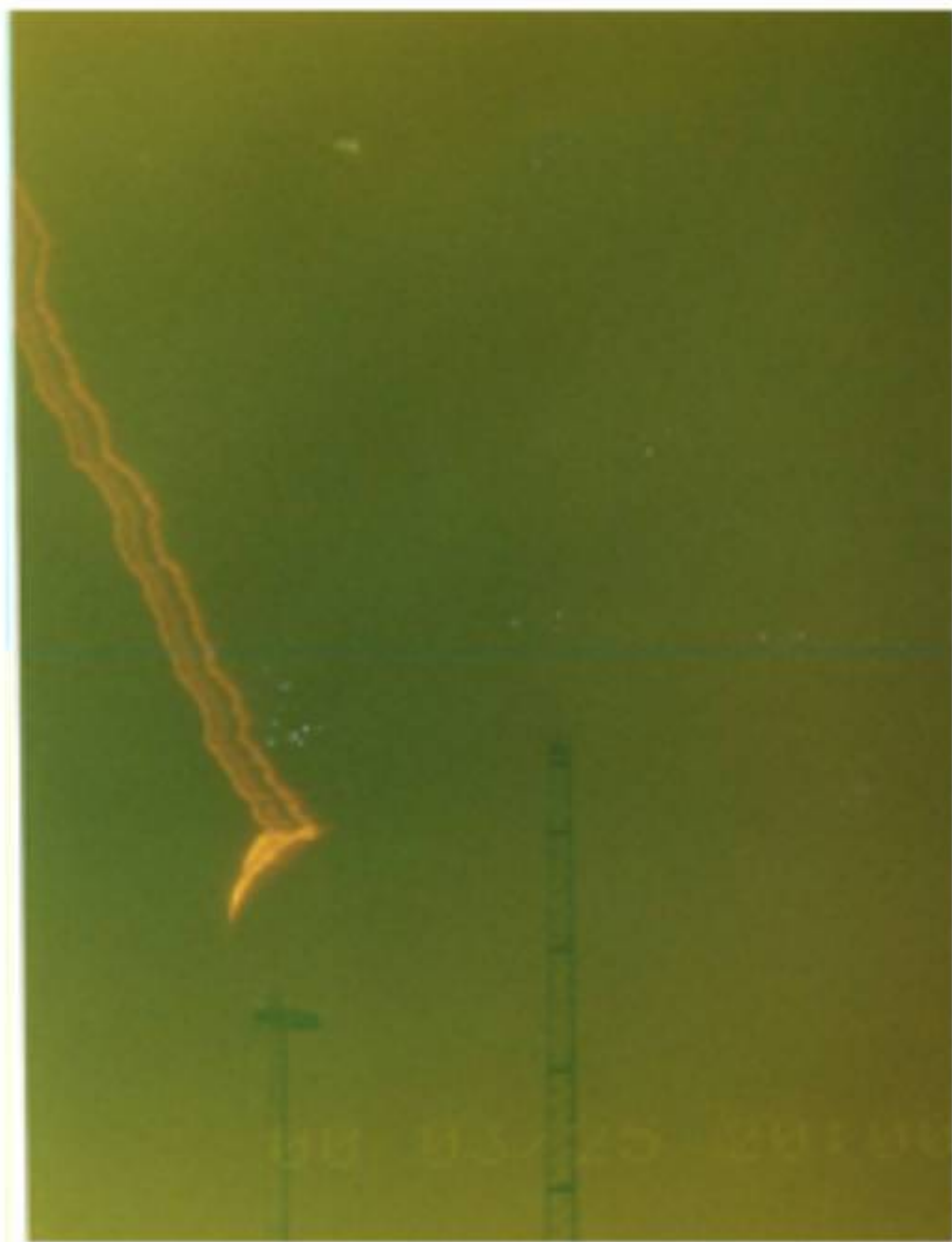
(2) ブレードの亀裂、絶縁層の損傷



静止写真

進展過程

落雷の進展過程



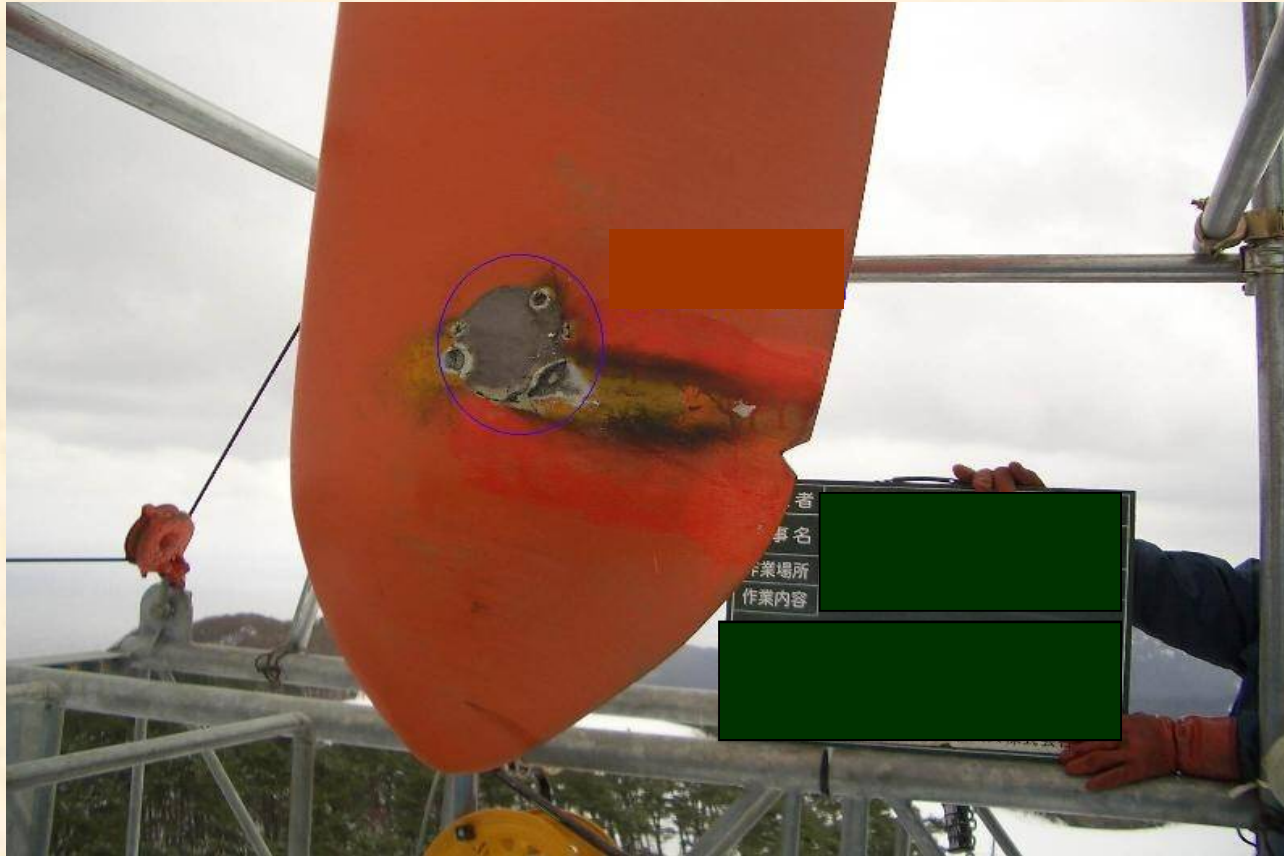
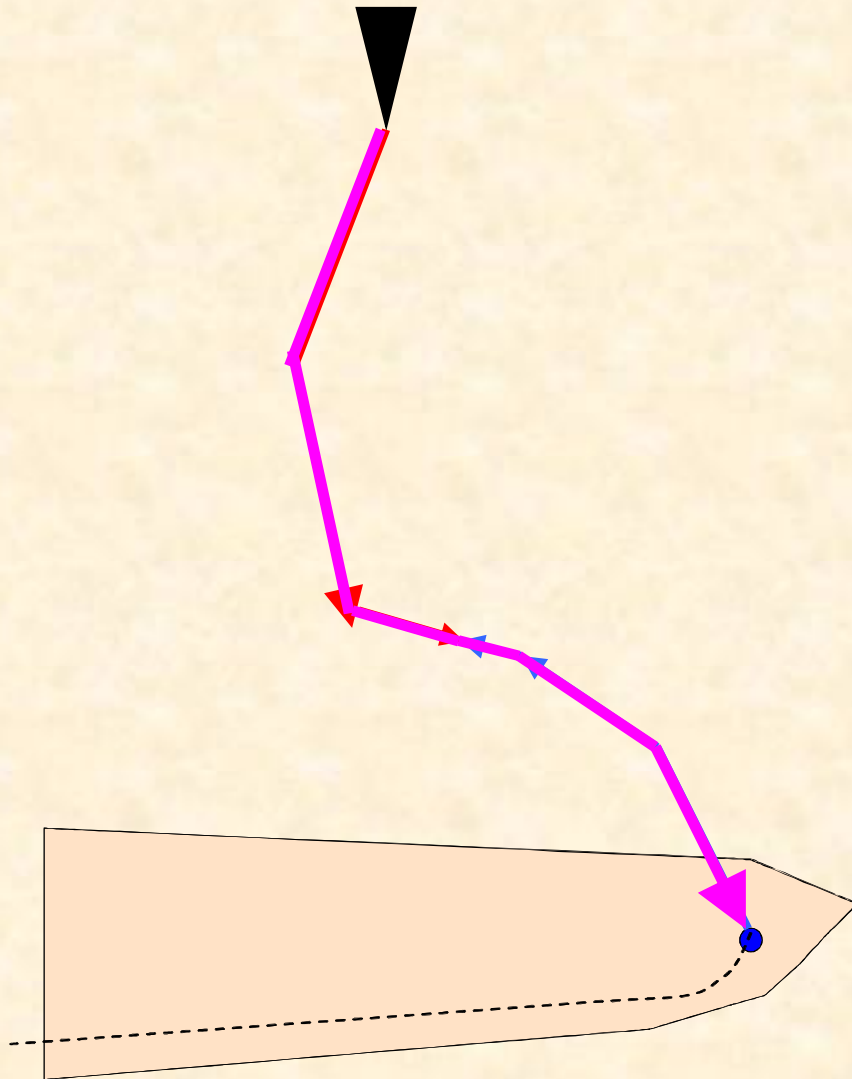


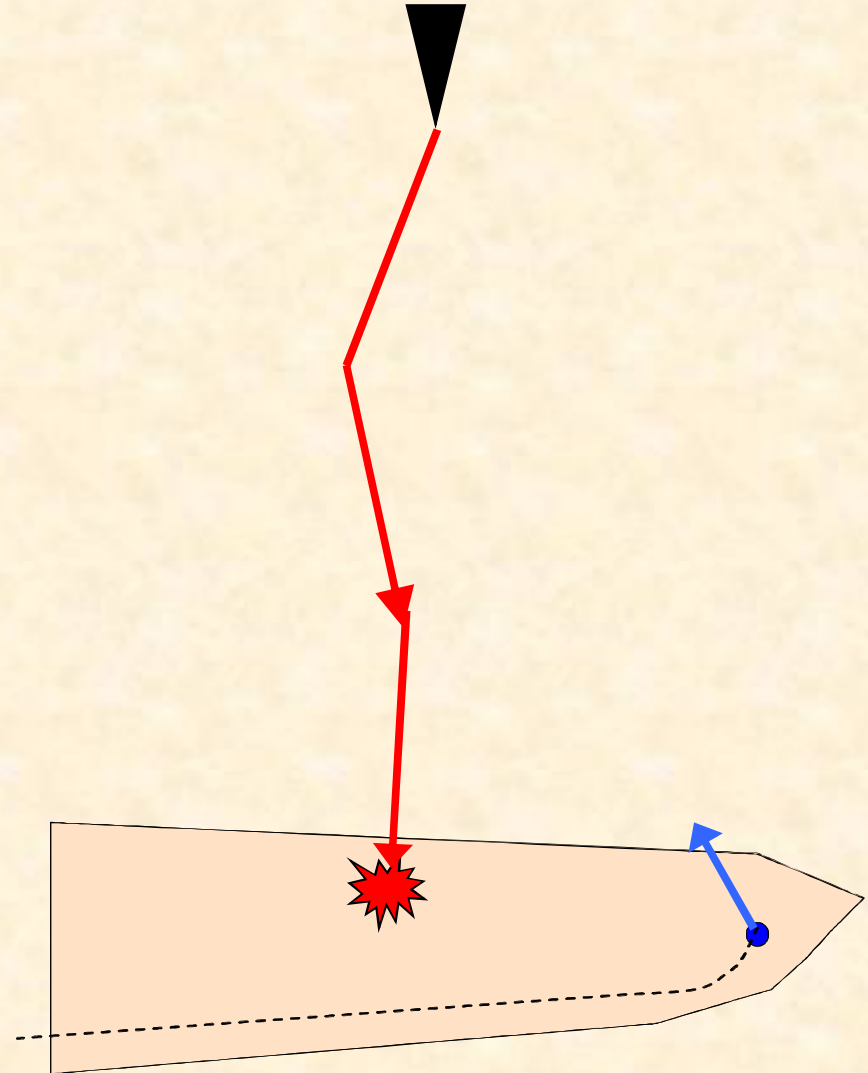
Fig.6 Charred on the surface of a blade

極性による放電進展様相の違い

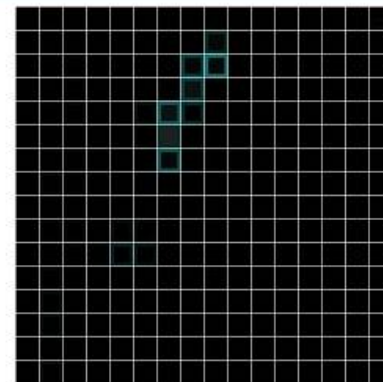
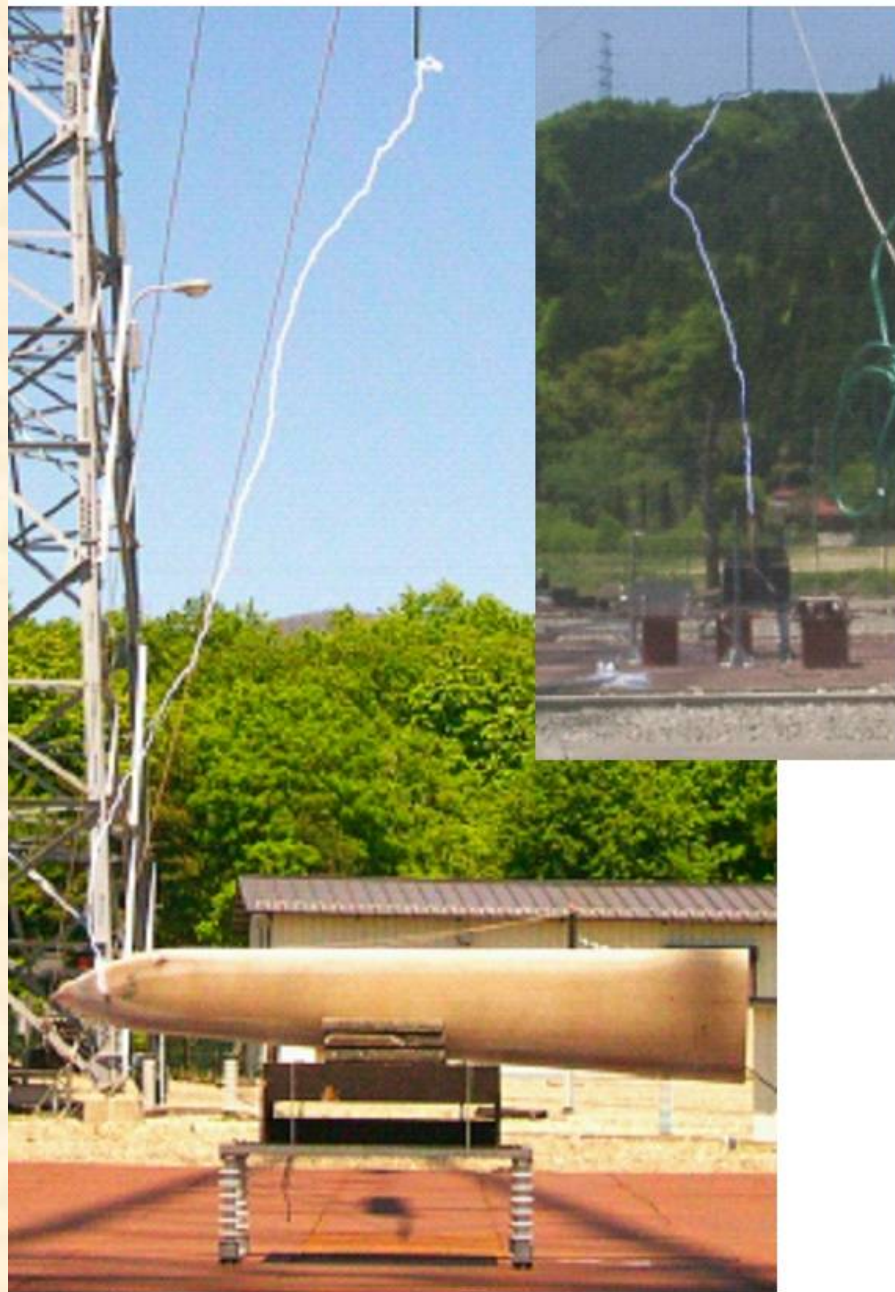
負極性雷撃



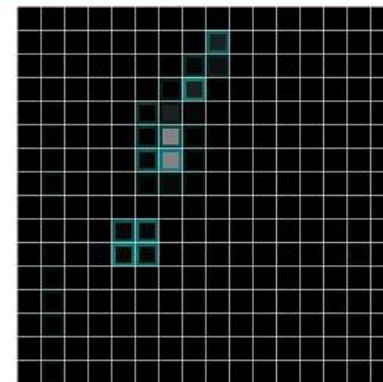
正極性雷撃



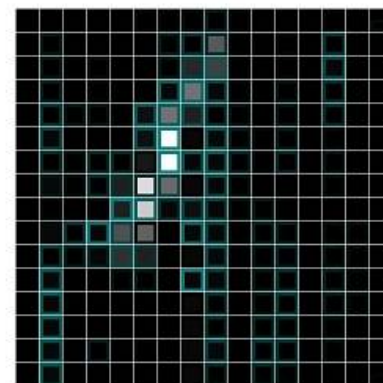
H-02 レセプタ装備ブレード・負極性開閉インパルス レセプタへ放電



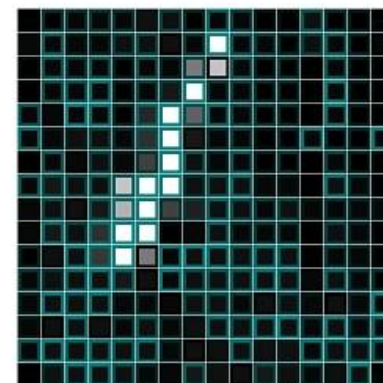
$-0.3 \mu s$



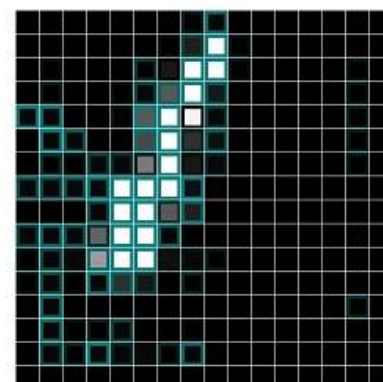
$-0.2 \mu s$



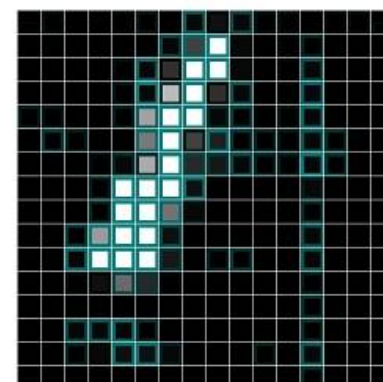
$-0.1 \mu s$



$0.0 \mu s$

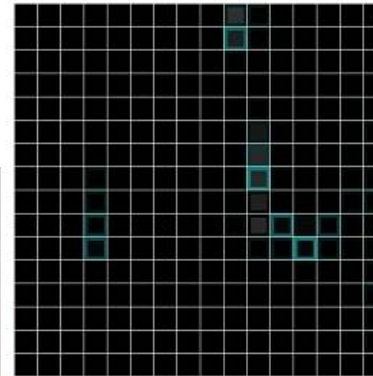


$0.1 \mu s$

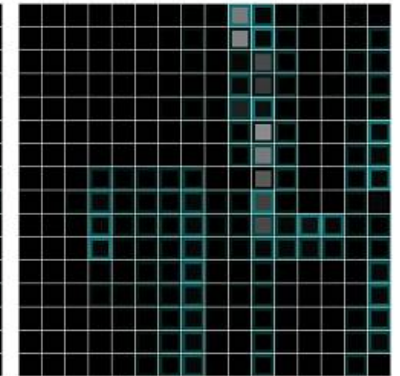


$0.2 \mu s$

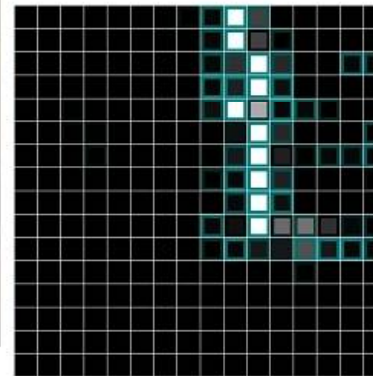
D3-02 レセプタ装備ブレード・水平配置・正極性雷インパルス 内部進展



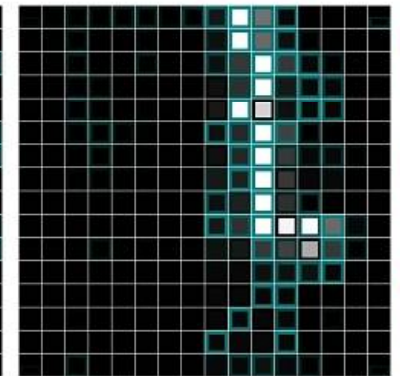
8.4



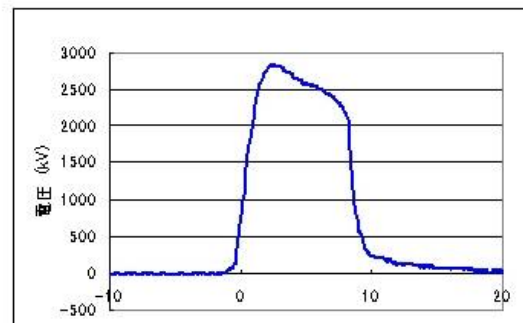
8.5



8.7

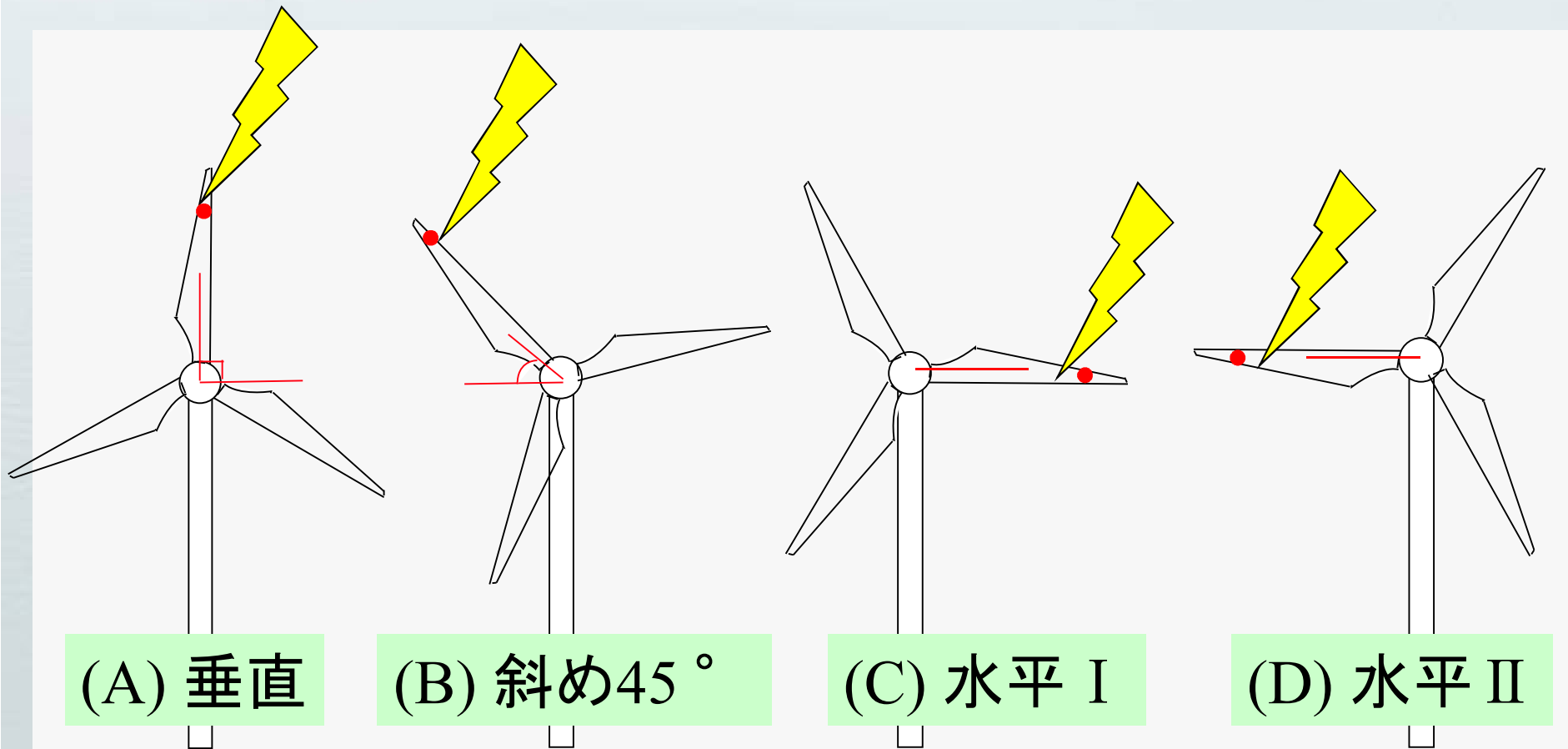


8.8



実験: Receptor 装備ブレードへの放電様相の検証

- ブレード (3m) にReceptor と引き下げ導線を装着
- 雷撃時のブレードの角度を考慮した実験配置



冬季雷の特徴

- (1) 地域の限定・・・海岸から30km以内程度
- (2) 雷雲の活動は一日中
- (3) 上向き枝分かれ放電
- (4) 高構造物への落雷の集中
- (5) 風上側の構造物に雷撃が集中
- (6) 正極性雷の増加
- (7) 電荷量の大きい雷

夏季雷(下向き雷放電)

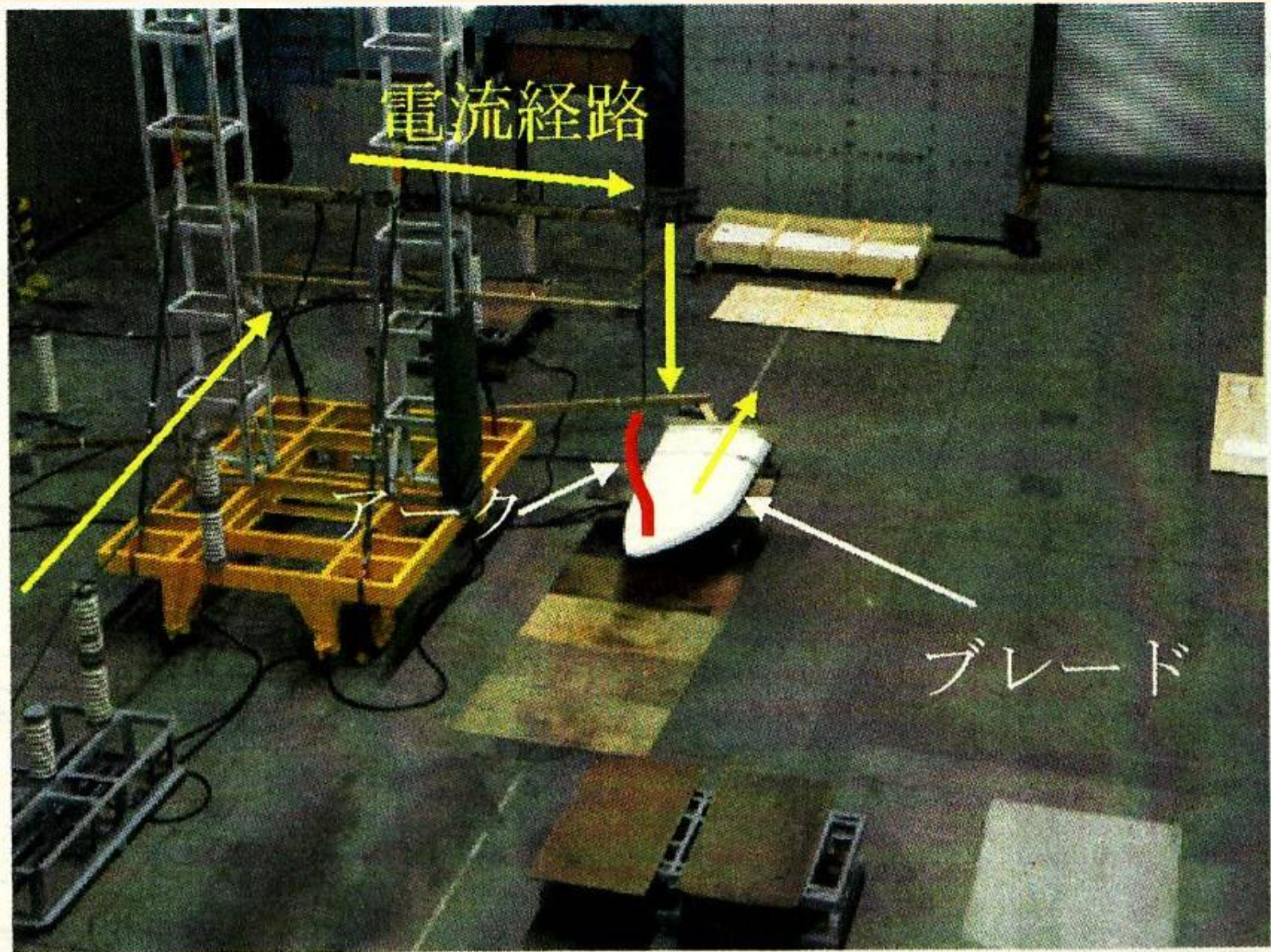


冬季雷(上向き雷放電)





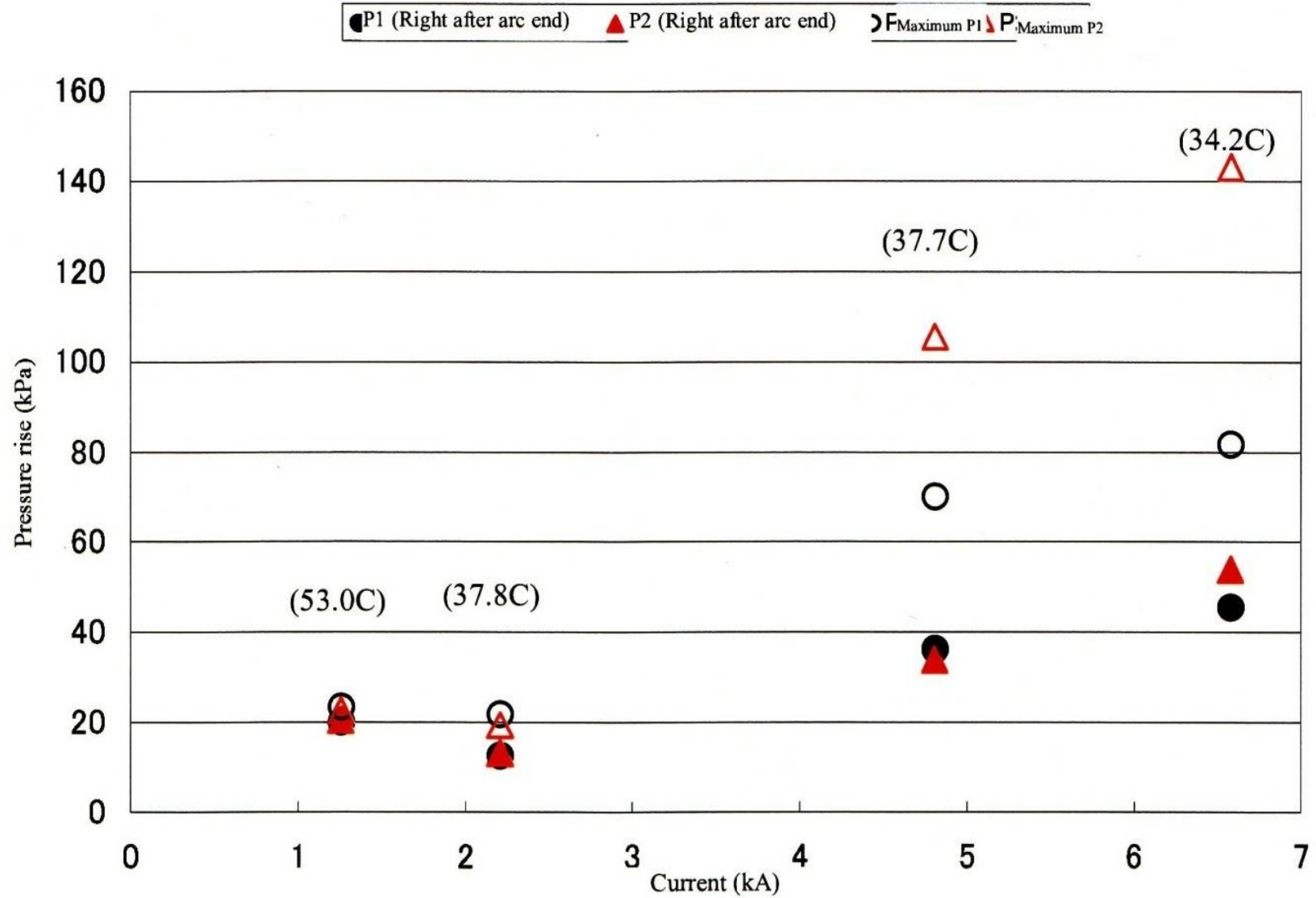
04 01/07 19:52:35.121 T. NO.00



電流経路

ブレード

アーク

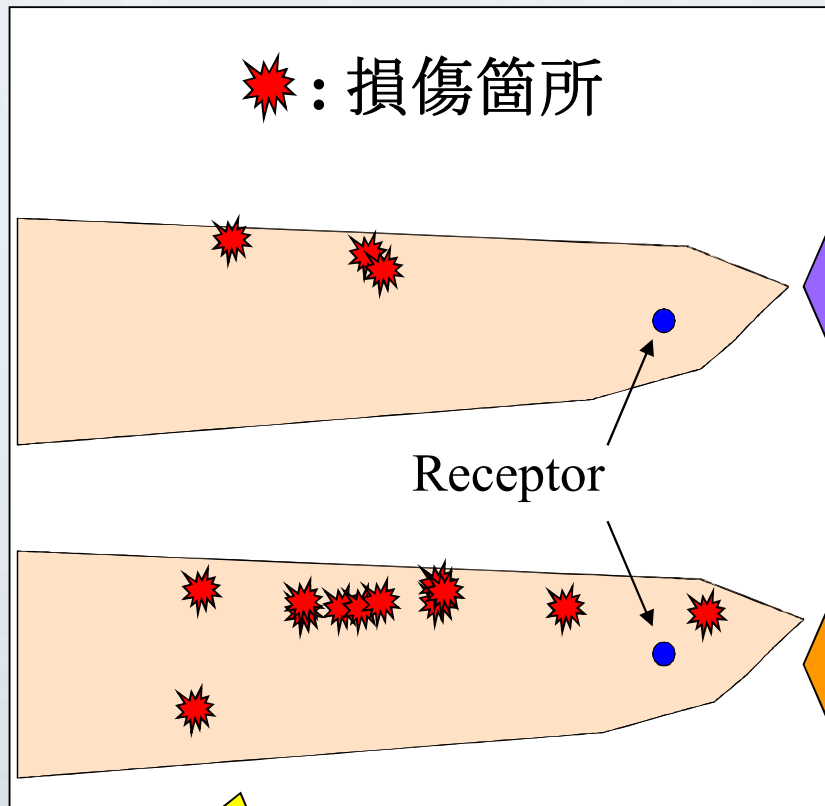


Values in parentheses show the quantity of charge.

Figure C 2.5 Characteristics of pressure rise inside the blade (Influence of the current peak value)

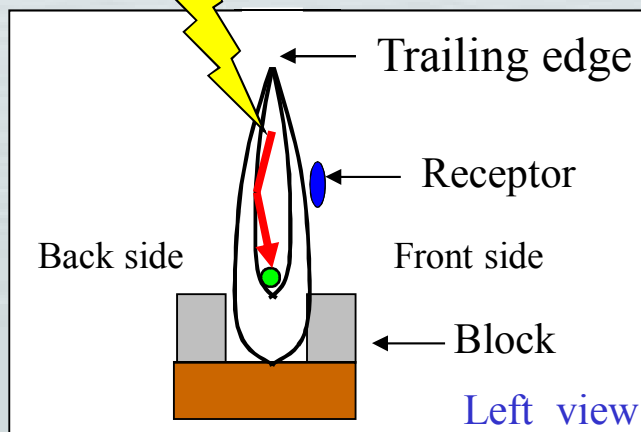
(C) 水平配置 I (後縁上向き)

損傷発生率 $R = \text{損傷発生回数} / \text{放電回数} \times 100$



水平配置 I 試験結果				
波形	避雷効果	回数	R (%)	
雷	正	×	3回	100
	負	○	20回	
開閉	正	×	12回	85.7
		▲	2回	
	負	○	16回	5.9
×		1回		

○: Receptorに放電し保護成功
 ×: 損傷発生
 ▲: 沿面放電 (損傷なし)

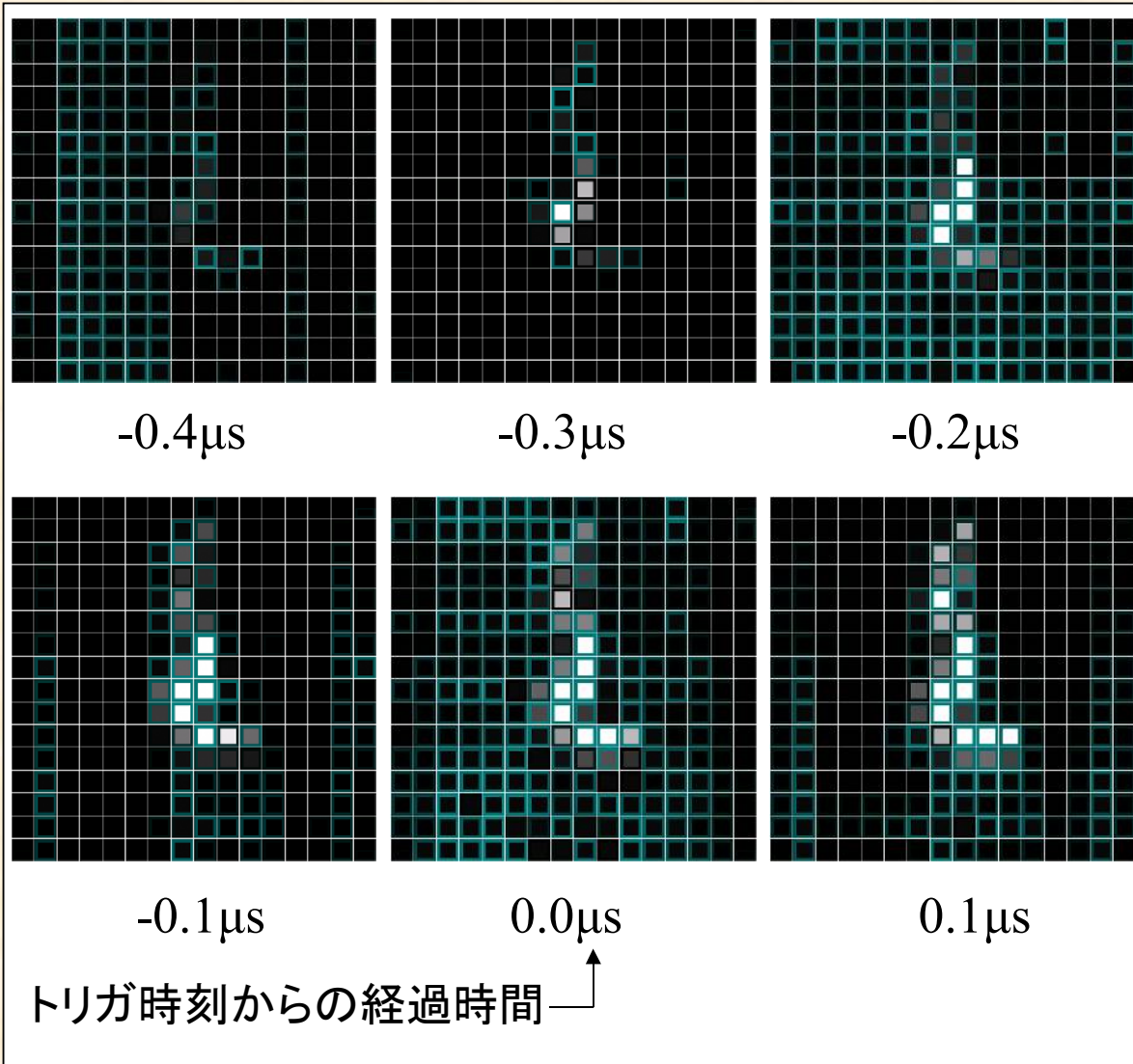


- 正極性で貫通破壊が頻発
- まれに放電がブレード内部を進展

(C) 水平配置 I

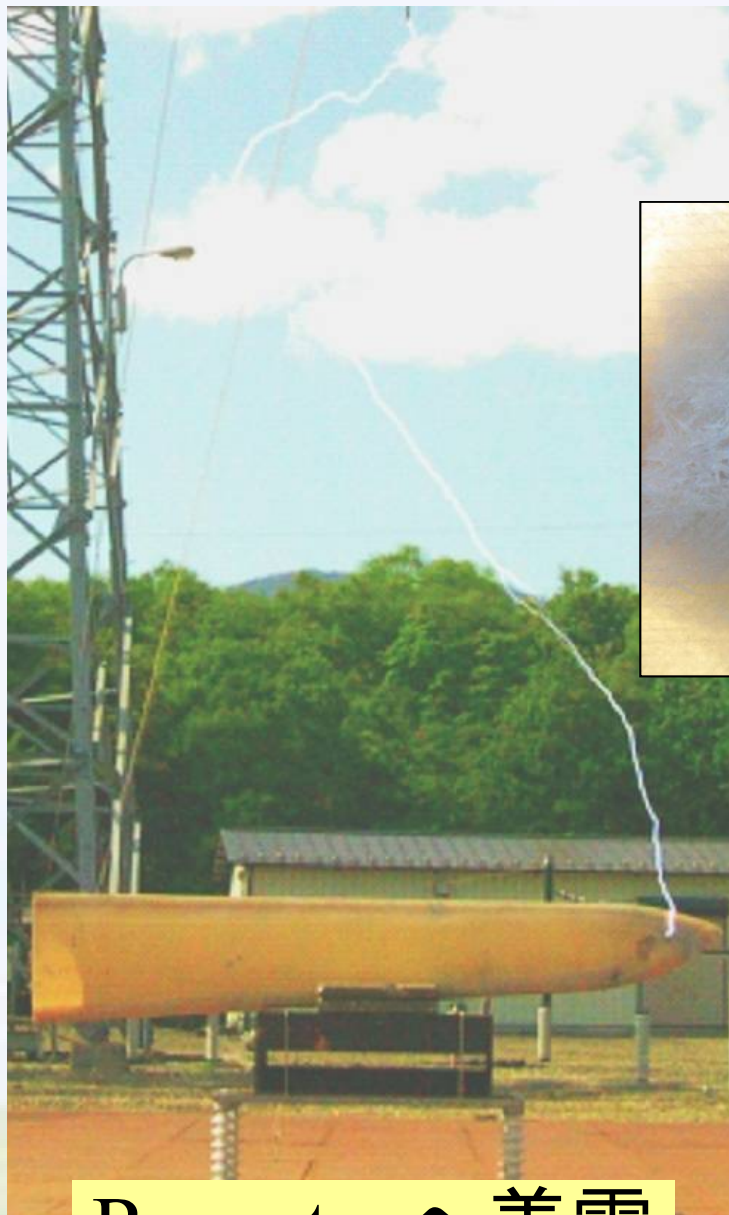
*ALPS: Automatic lightning discharge Progressing-feature observation System

ALPSによる放電進展様相観測結果

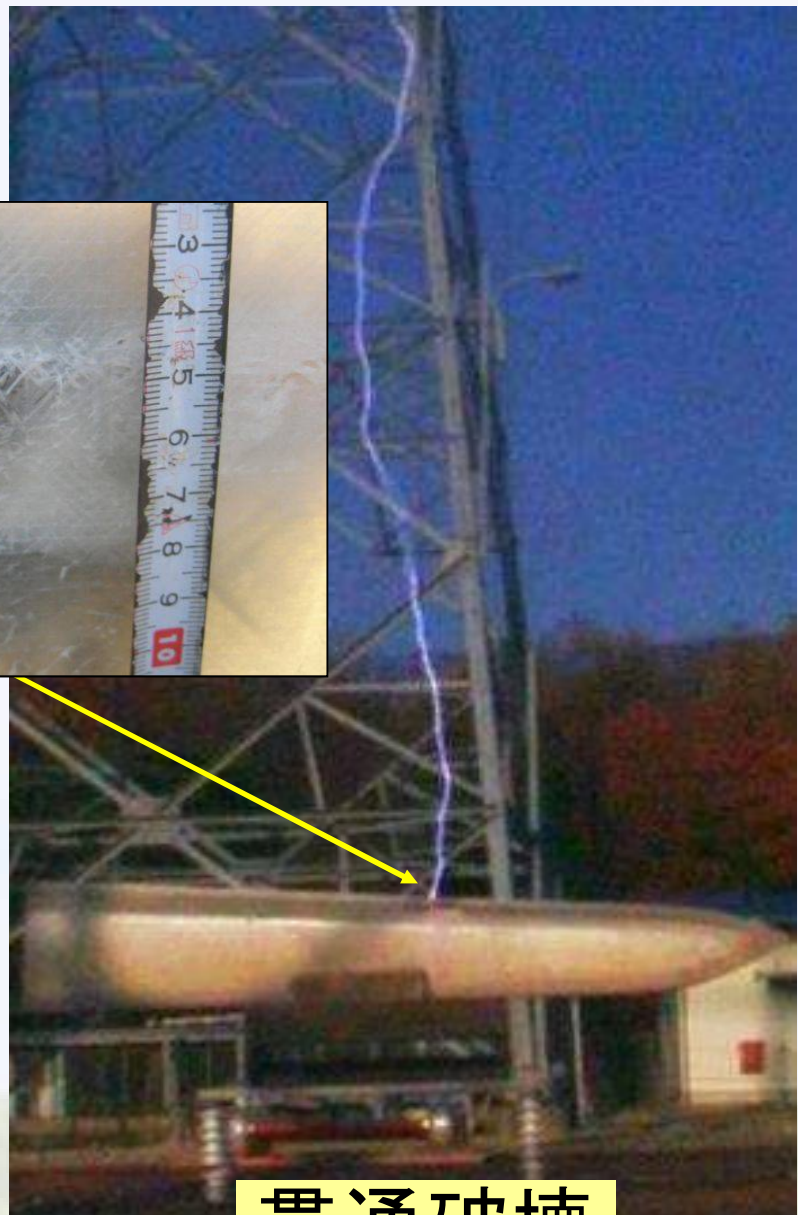


ブレード内部進展

(C) 水平配置 I における放電様相



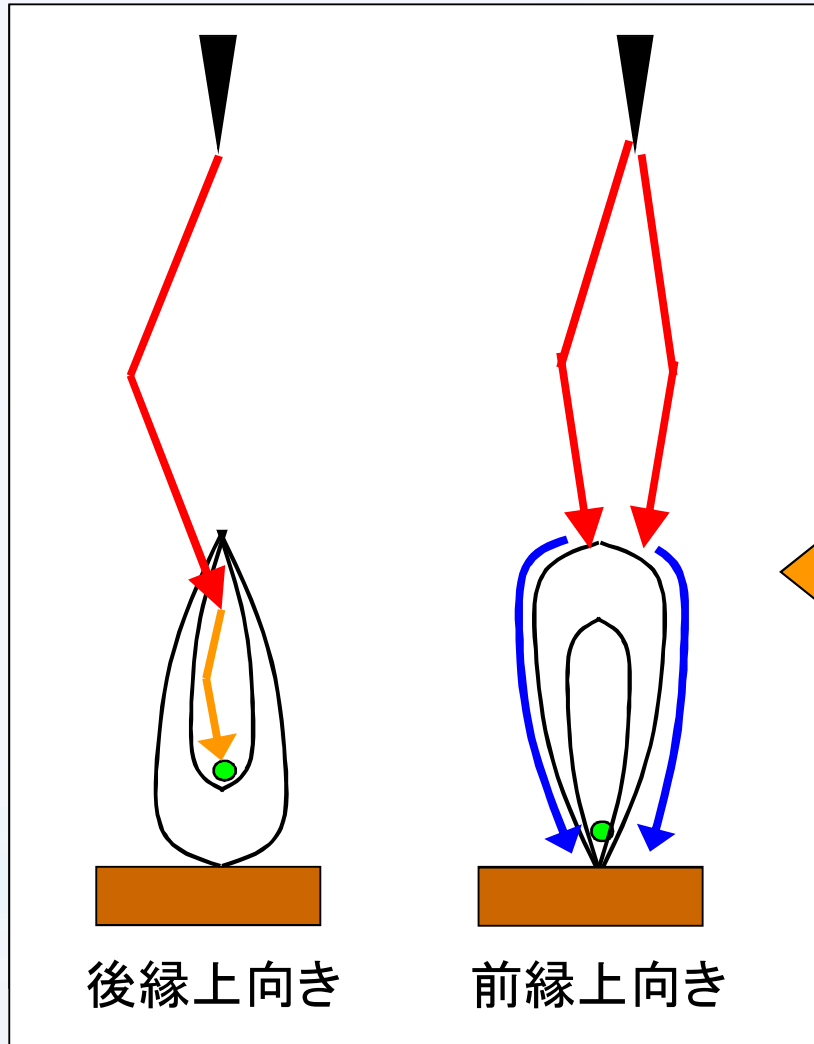
Receptorへ着雷



貫通破壊

(D) 水平配置Ⅱ (前縁上向き)

○: Receptorに放電し保護成功, ×: 損傷発生
 ▲: 沿面放電 (損傷なし), R: 損傷発生率



水平配置Ⅱ 試験結果				
波形	避雷効果	回数	R (%)	
雷	正	×	4回	100
	負	○	4回	
		×	1回	20
開閉	正	▲	8回	85.7
		×	4回	28.9
	負	○	2回	
		○	10回	0
▲	1回			

- ・ 損傷発生率減少
- ・ まれにブレード内部を進展