



落雷のメカニズムと最新の雷保護

【落雷のメカニズム】

常時、地表面に存在する電界 $0.0001[V/m]$ により空気中の水滴中で電荷の分極が発生する。

もしこの水滴が分割されると、電荷も分離してしまう。

大気中で発生する乱気流によって、同じ極性の水滴が集中して移動するようなことがあれば、雲は部分的に異なった極性の電荷を持つようになる。

雲の下側の電荷は地表面に電荷を誘発する。

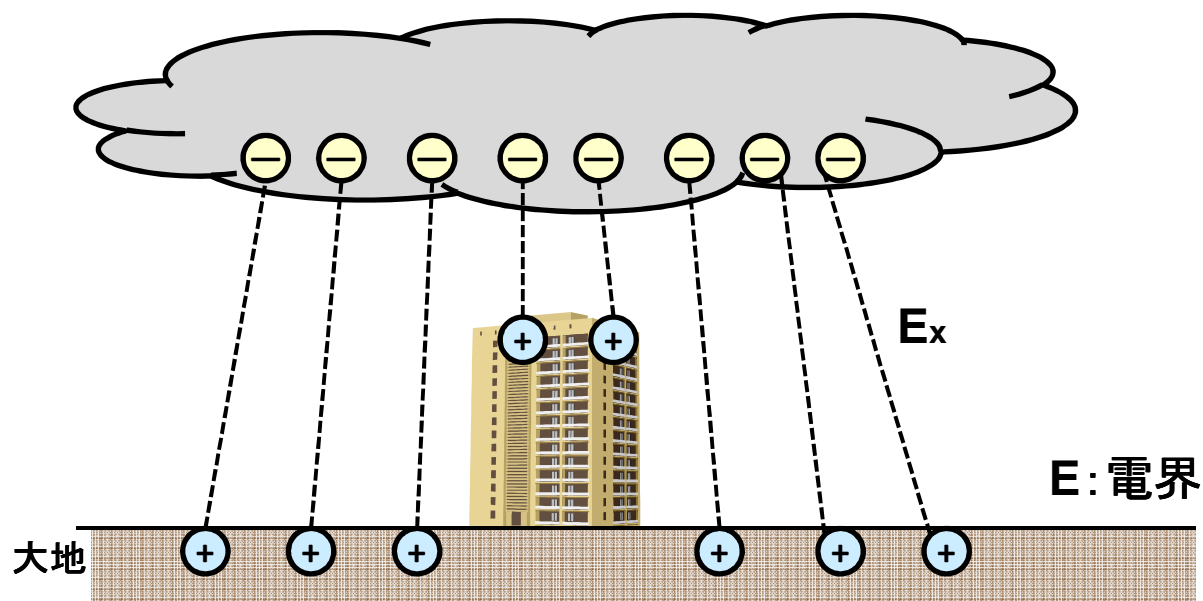


図1. 雷雲と地表に影響を与える電荷

【落雷のメカニズム】

同一極性の水滴が集中すると、局部の電界は空気の絶縁耐力を超過し、放電路が形成され、大地へ向かって段階的にいわゆる先駆放電(ステップリーダー)が進行する。

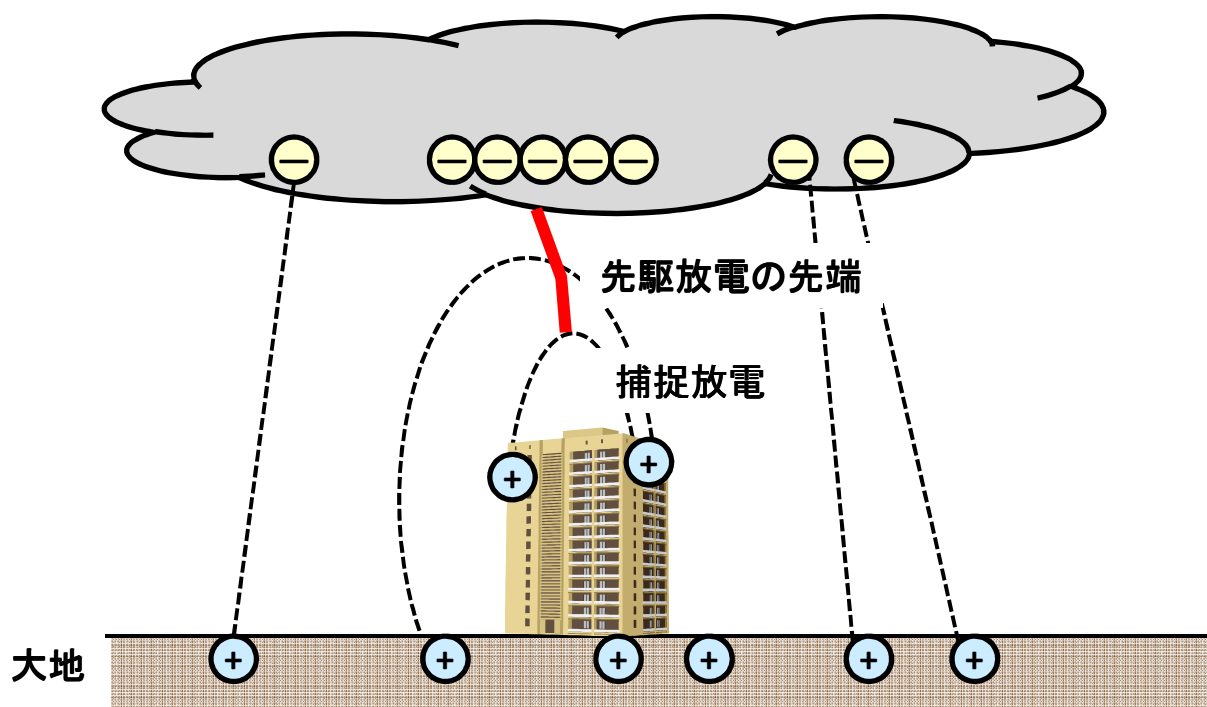


図2. 先駆放電の段階的成長と捕捉放電の発生

【落雷のメカニズム】

雷の放電路の近傍では雲から、空気のイオン化に十分な量の電荷が放電路に供給され、この電荷供給に携わる雲の範囲は半径500[m]とされている。

雷電流の標準波形は波頭 $10\mu\text{s}$ 、波尾 $350\mu\text{s}$ であり、これをフーリエ分析すると、直流分と数kHz～数100kHzの高周波分の和であることが分かる。

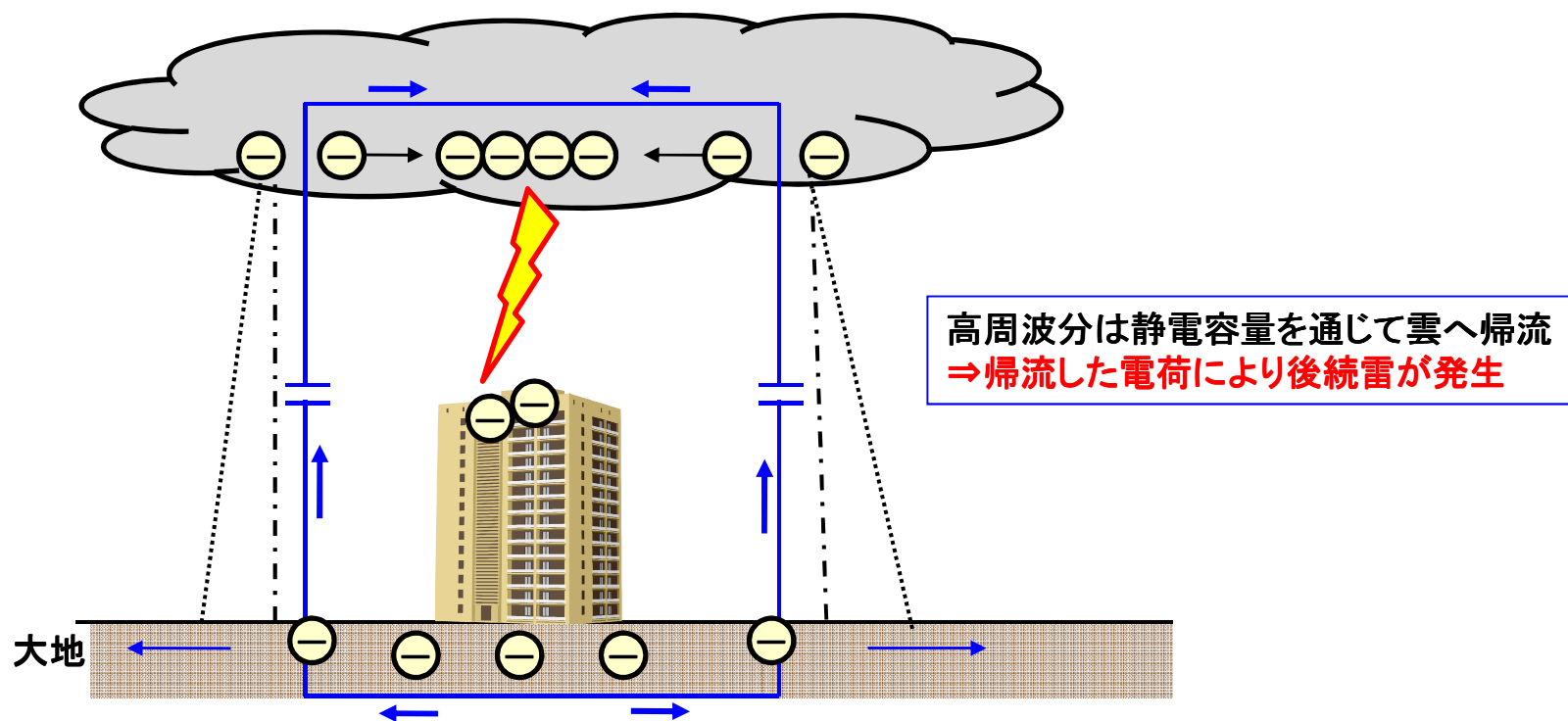


図3. 静電容量を通じての雲への帰流

【雷保護レベル】

- ①雷保護レベルⅠ
原子力発電所・化学工場・爆発の危険性のある設備・大規模電算センター
- ②雷保護レベルⅡ
工場設備・病院・大銀行・本社
- ③雷保護レベルⅢ
一般事務所・管理部門

LPSの保護効率 E	保護レベル	雷電流波高値の対象範囲	
		最大電流	最小電流
0.98	I	200 kA	2.9 kA
0.95	II	150 kA	5.4 kA
0.90	III	100 kA	10.1 kA
0.80	IV	100 kA	15.7 kA

出典:IEC 61024-1-1

【雷電流成分】

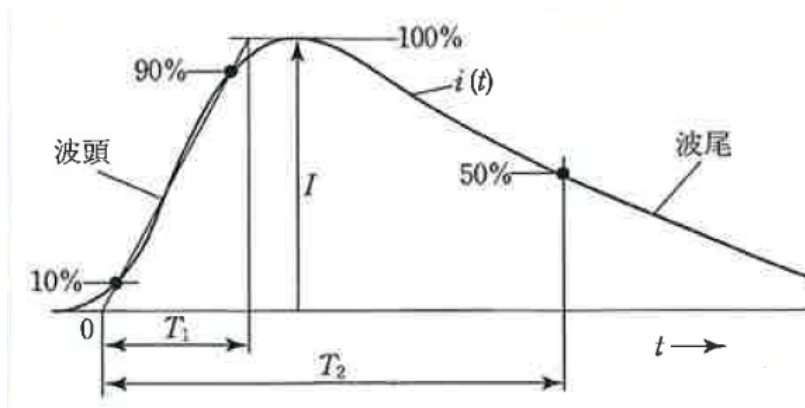


図4. 波頭 T_1 および波尾 T_2 を持つ
インパルス電流の定義

	雷保護レベル			
	I	II	III	IV
規定値以下の確率	99%	98%	97%	97%
規定値超過の確率	1%	2%	3%	3%

出典: IEC 62305-1

【雷電流の発生確率】

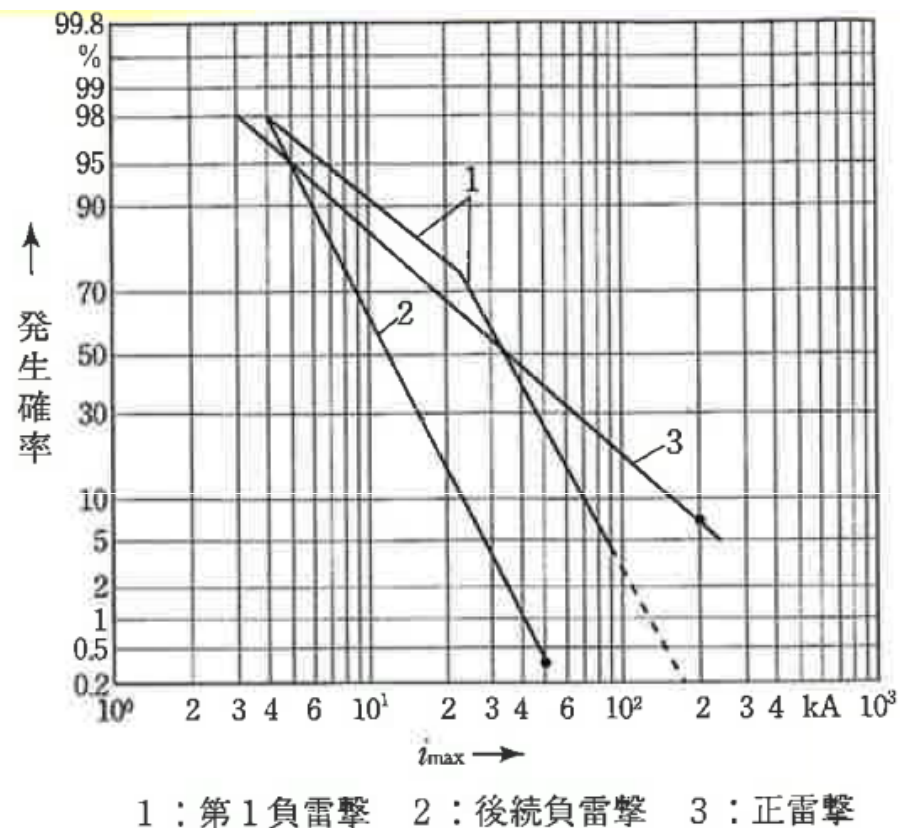


図5. CIGREによる雷電流波高値の発生確率分布
(CIGRE:大電力システム国際会議)

【雷電流の分流経路】

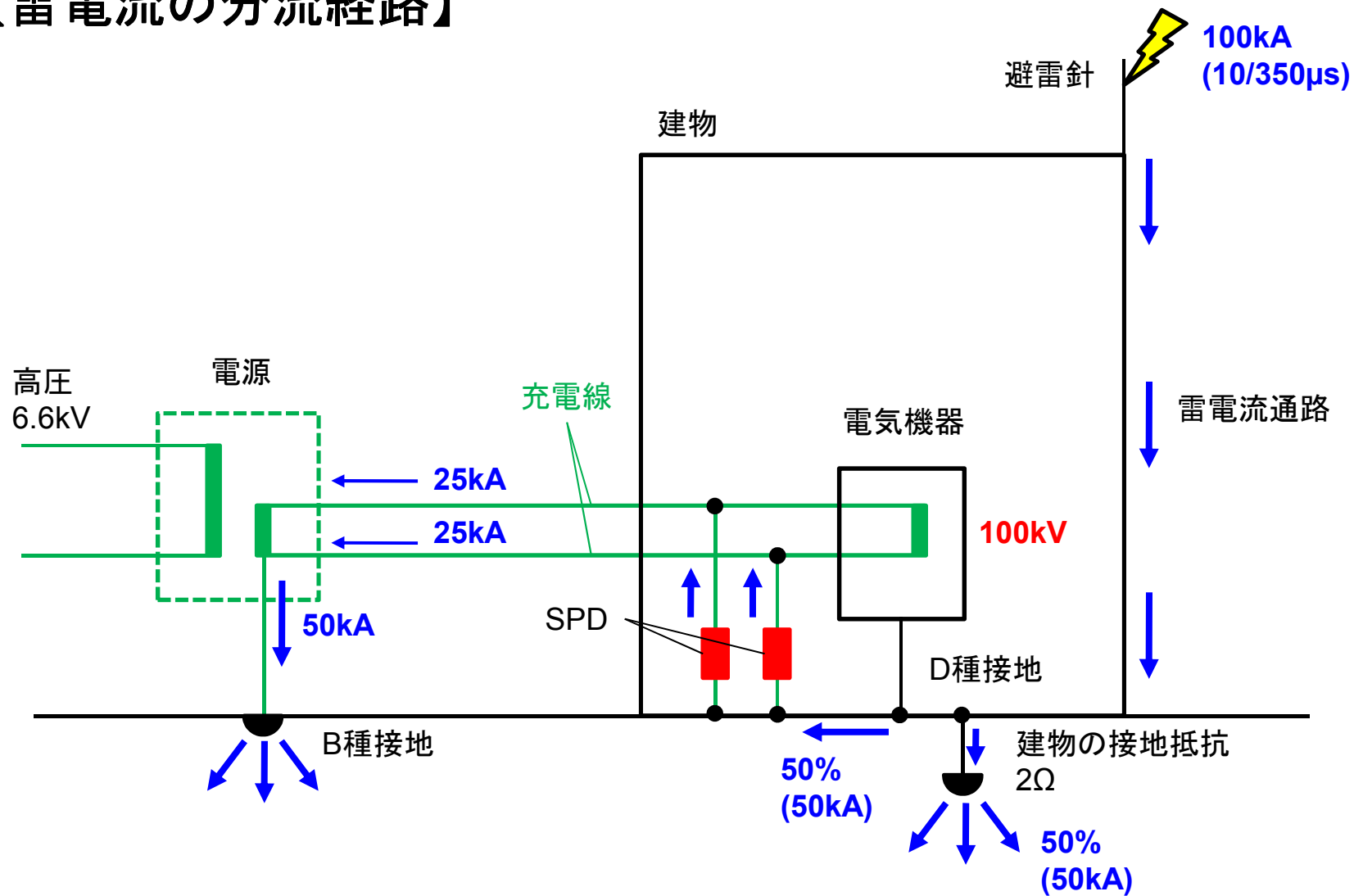


図6. 避雷針に落雷した雷電流の分流状況

【雷電流により発生する誘導電圧】

ビル内の電気設備回路が引下げ導体と分離独立している場合

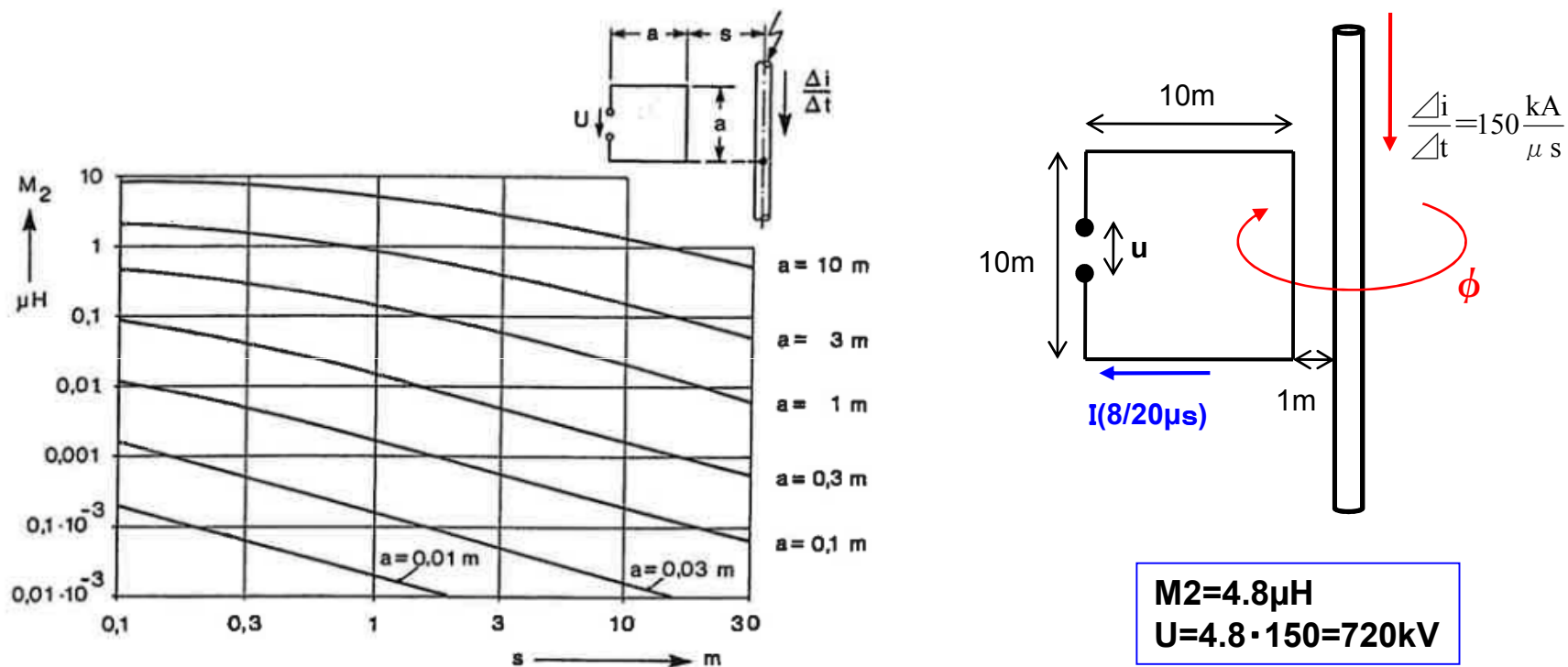


図7. ビル内の電気設備の正方形回路が引下げ導体と分離独立し、距離sだけ離隔している場合の相互インダクタンスM₂

【雷電流波形の相違】

	電流波形 [μs]	ピーク電流 [kA]	合計電荷量 [kAs]	比率(直撃/誘導)
直撃雷	10/350	100	0.04863852	24.92171277
誘導雷	8/20	100	0.001951652	—

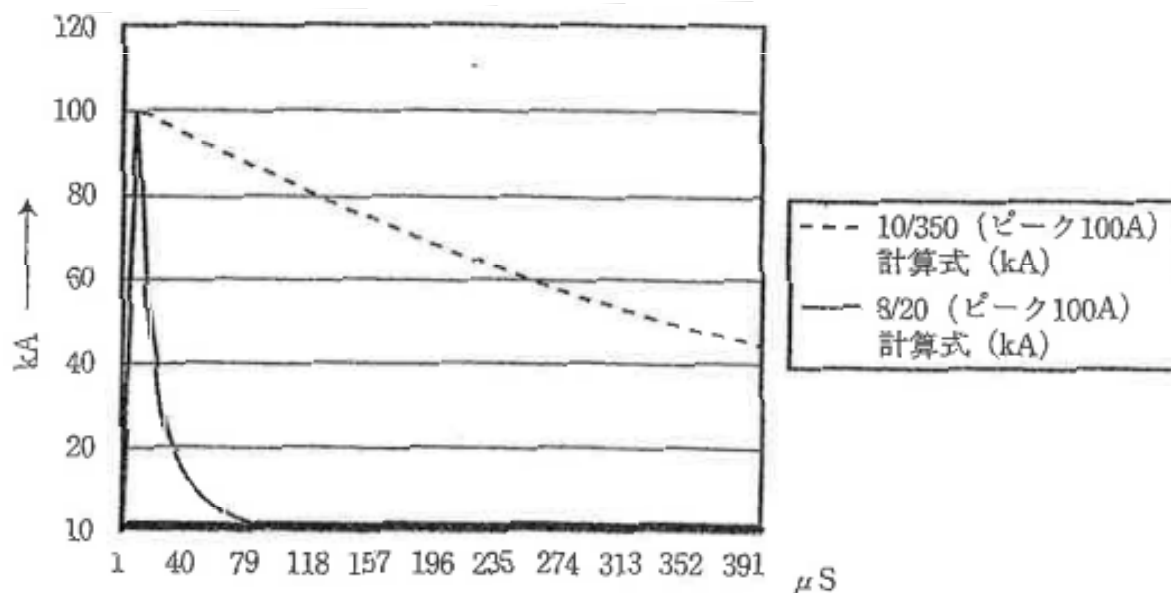


図8. 直撃雷と誘導雷の電荷量比

【各雷保護レベル(LPL)における雷電流特性値】

		LPL				
		記号	単位	I	II	III/IV
第一雷撃	第1雷撃電流波高値	I_{max}	kA	200	150	100
	第1雷撃電流電荷	Q_{short}	C	100	75	50
	第1雷撃電流 電荷固有エネルギー	W/R	MJ/ Ω	10	5.6	2.5
	波形	T1/T2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350	10/350	10/350
後続雷撃	後続雷撃電流波高値	I_{max}	kA	50	37.5	25
	後続雷撃電流の 平均電流上昇率	di/dt	kA/ μs	200	150	100
	波形	T1/T2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0.25/100	0.25/100	0.25/100
長時間雷撃	長時間雷撃電流の電荷	Q_{long}	C	200	150	100
	長時間雷撃電流の 継続時間	T_{long}	S	0.5	0.5	0.5

【SPDの動作特性】

JIS C 5381-1:2004

「低圧配電システムに接続するサージ防護デバイスの所要性能及び試験方法」

代表的SPD

- 電圧スイッチング形SPD(エアギャップ)…クラス I (図9)
- 電圧制限形SPD(ZnOバリスタ)…クラス I (図10)

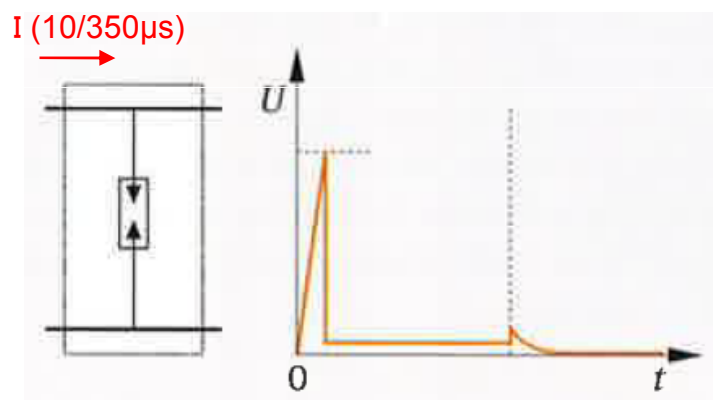


図9. 電圧スイッチング形SPD動作時の端子電圧の変化

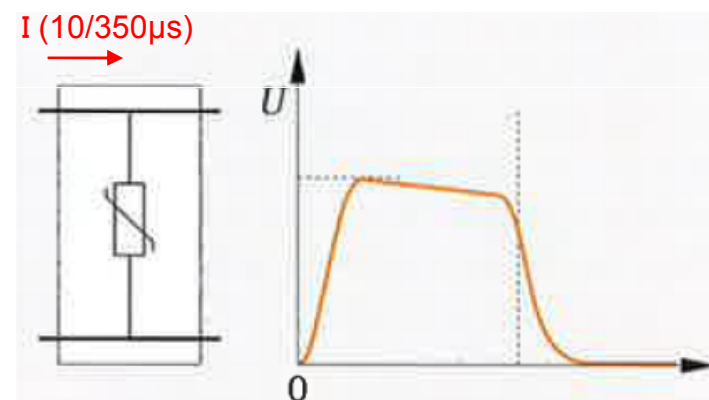


図10. 電圧制限形SPD動作時の端子電圧の変化

【SPDエネルギー協調】

基本的にSPDは本図のように雷保護ゾーン(LPZ)のインターフェース移行点に取付ける。それぞれのLPZに対応して回路や機器の耐インパルスカテゴリが決められている。

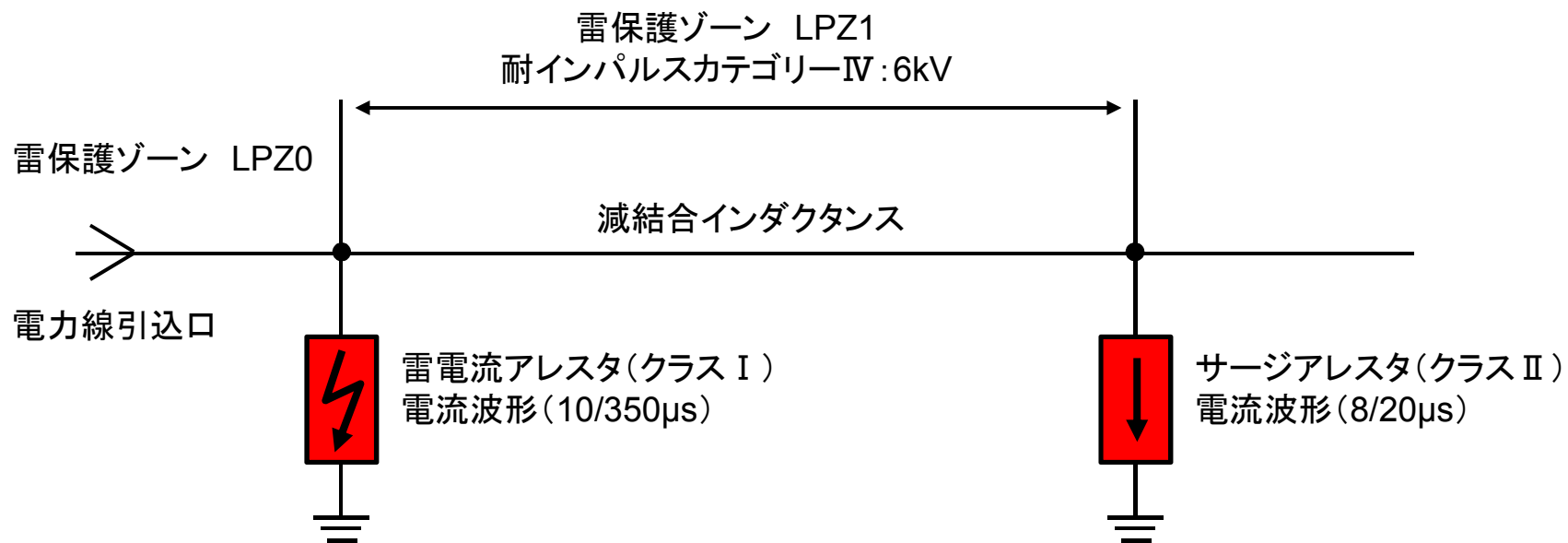


図11. 雷電流アRESTA(クラス I)とサージアRESTA(クラス II)のエネルギー協調

【ギャップSPDとバリスタSPDのエネルギー協調の比較】

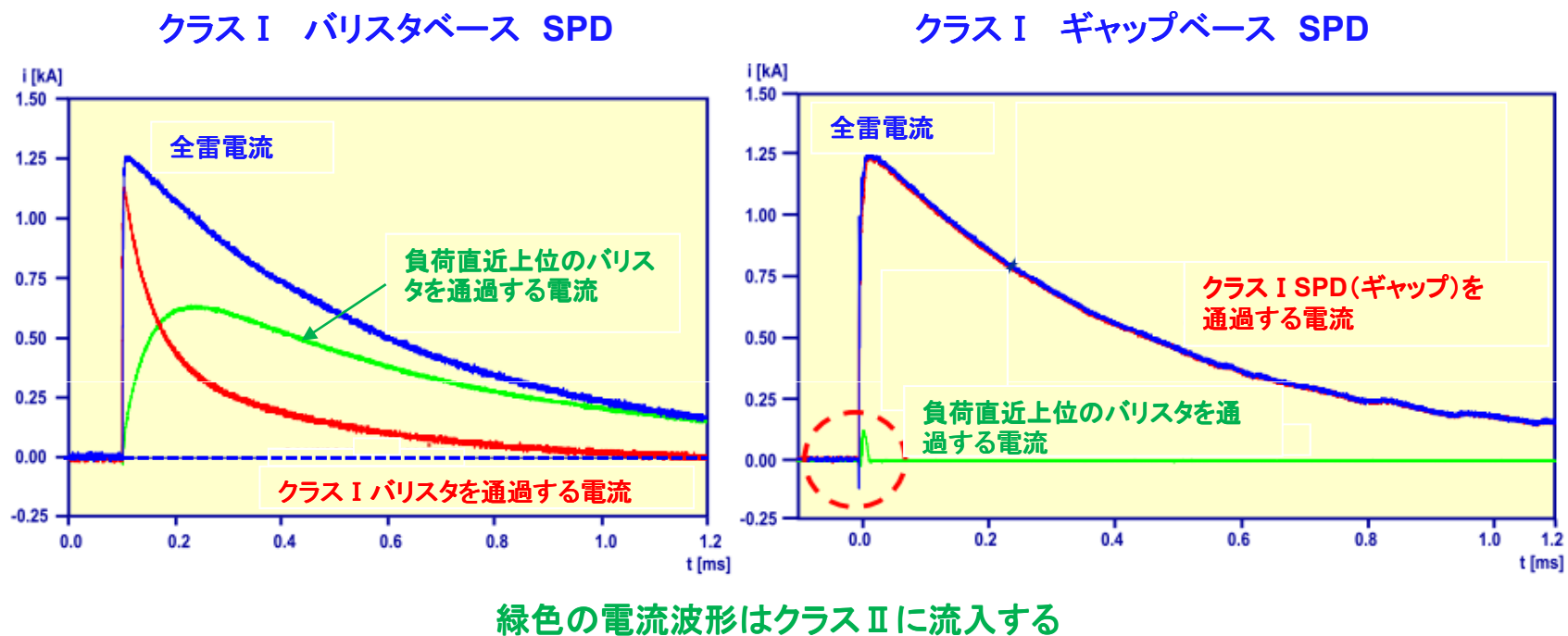


図12. 減結合インダクタンス10mにおける電流特性
(全電流:1.25kA 10/350 μ s)

【SPDの設置箇所】

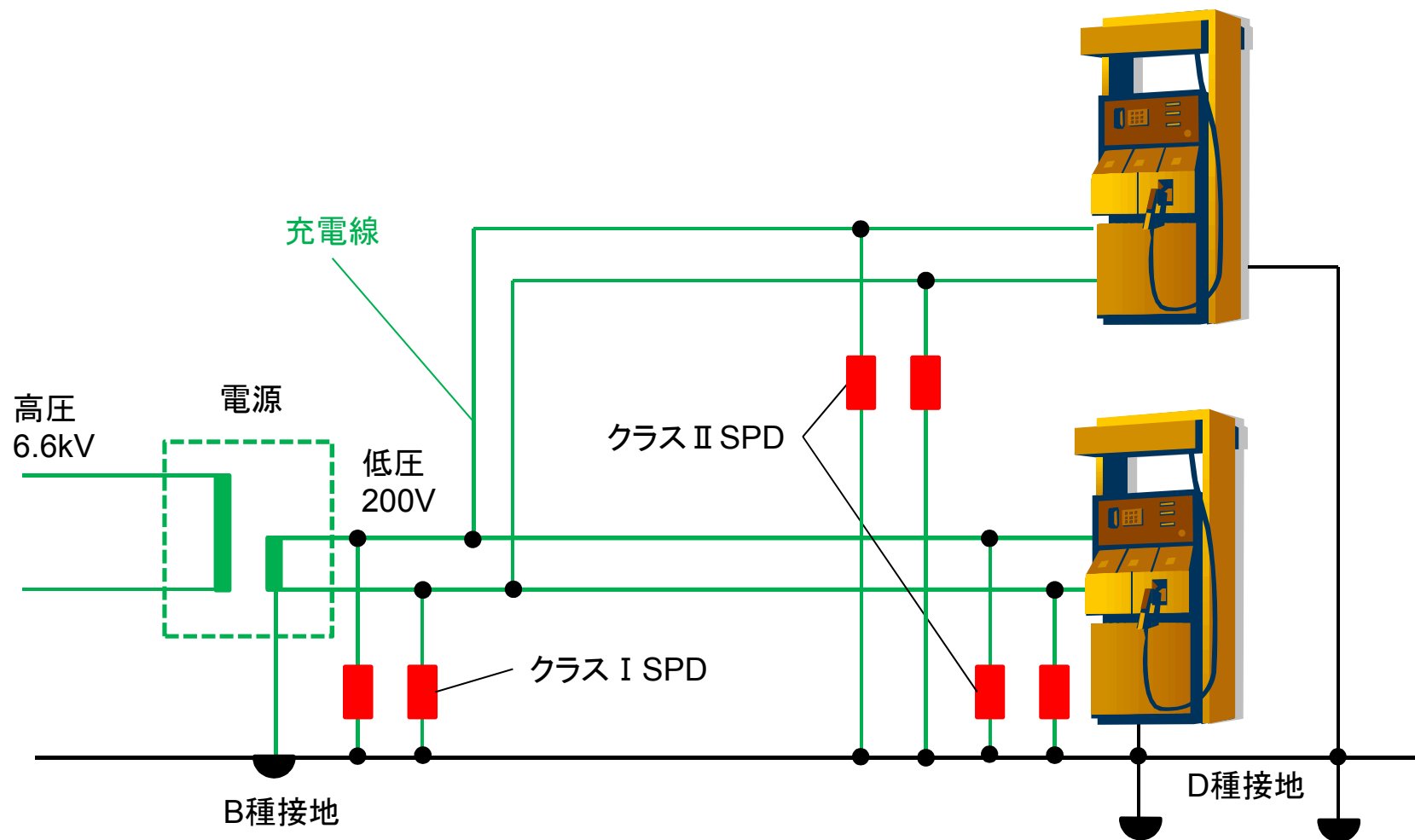
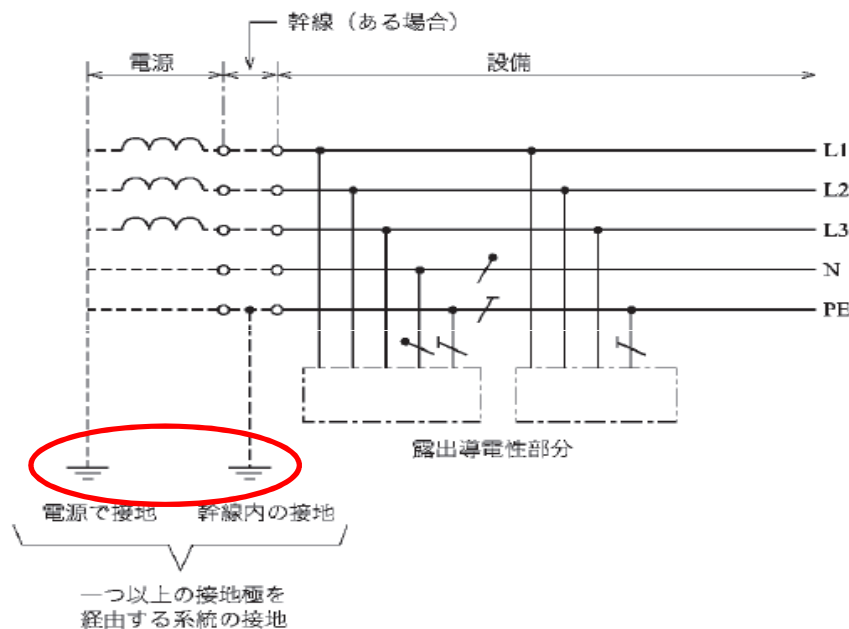


図13. クラス I SPDとクラス II SPDの設置位置

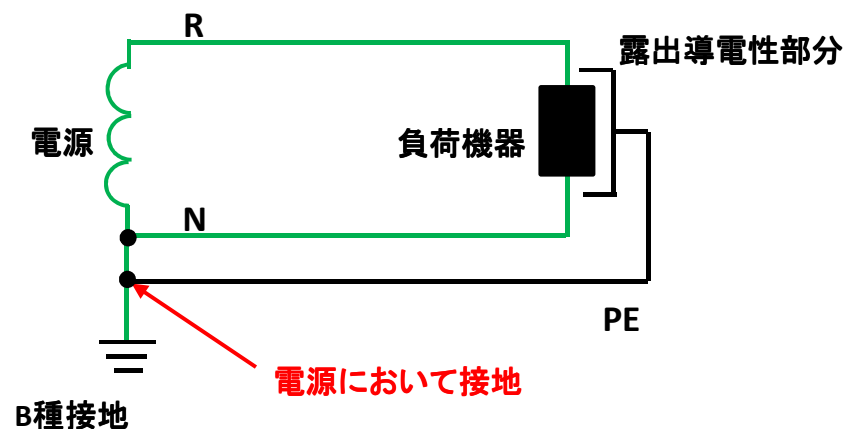
【電力配電線の接地系統】

TN-系統

電源において一点を直接接地し、設備の露出導電性部分を保護導体によってその点へ接続



(a) JIS C 60364-1 図31A1

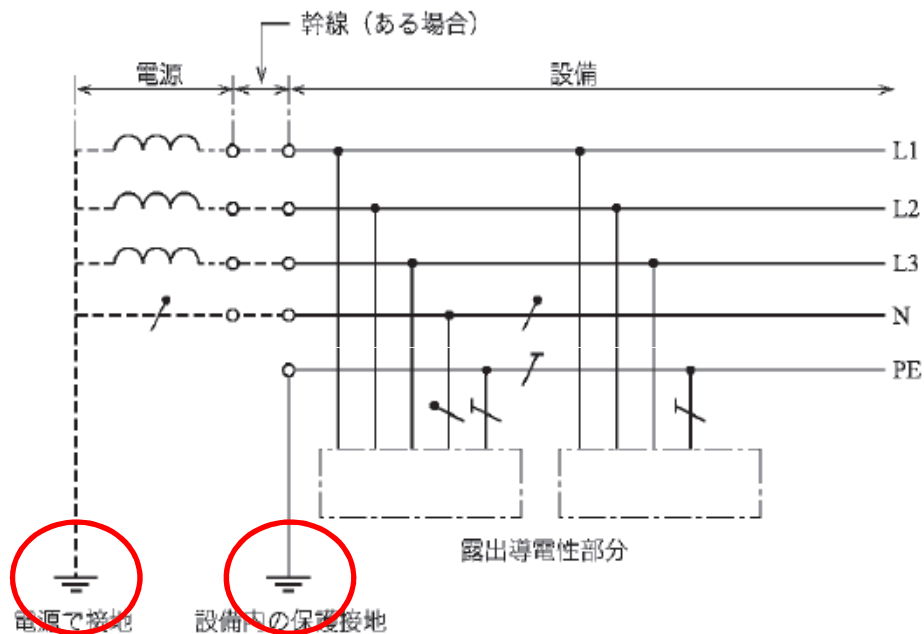


(b) 単相2線配線例

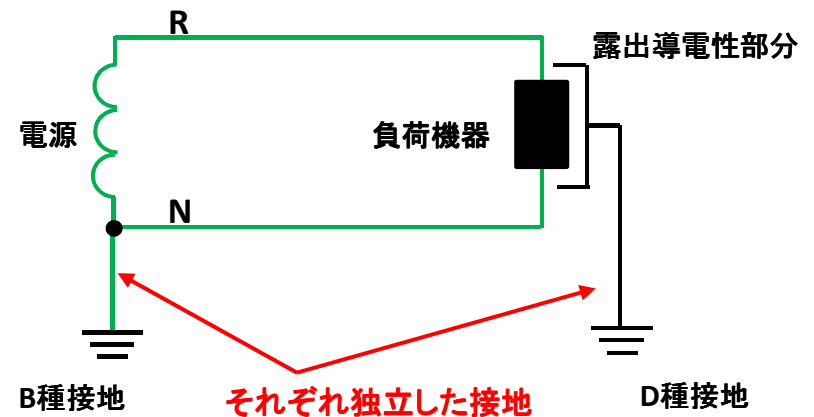
図14. 系統の全体にわたって、別個の中性線及び保護導体をもつTN-S系統

TT-系統

設備の露出導電性部分は電力供給系統の接地極とは電氣的に**独立**した接地極に接続



(a) JIS C 60364-1 図31F1



(b) 単相2線配線例

図15. 設備全体にわたって、別個の中性線及び保護導体をもつTT系統

【TT系統におけるSPD接続方法】

SPD短絡故障時の対策:バックアップ遮断器 **MCCB**

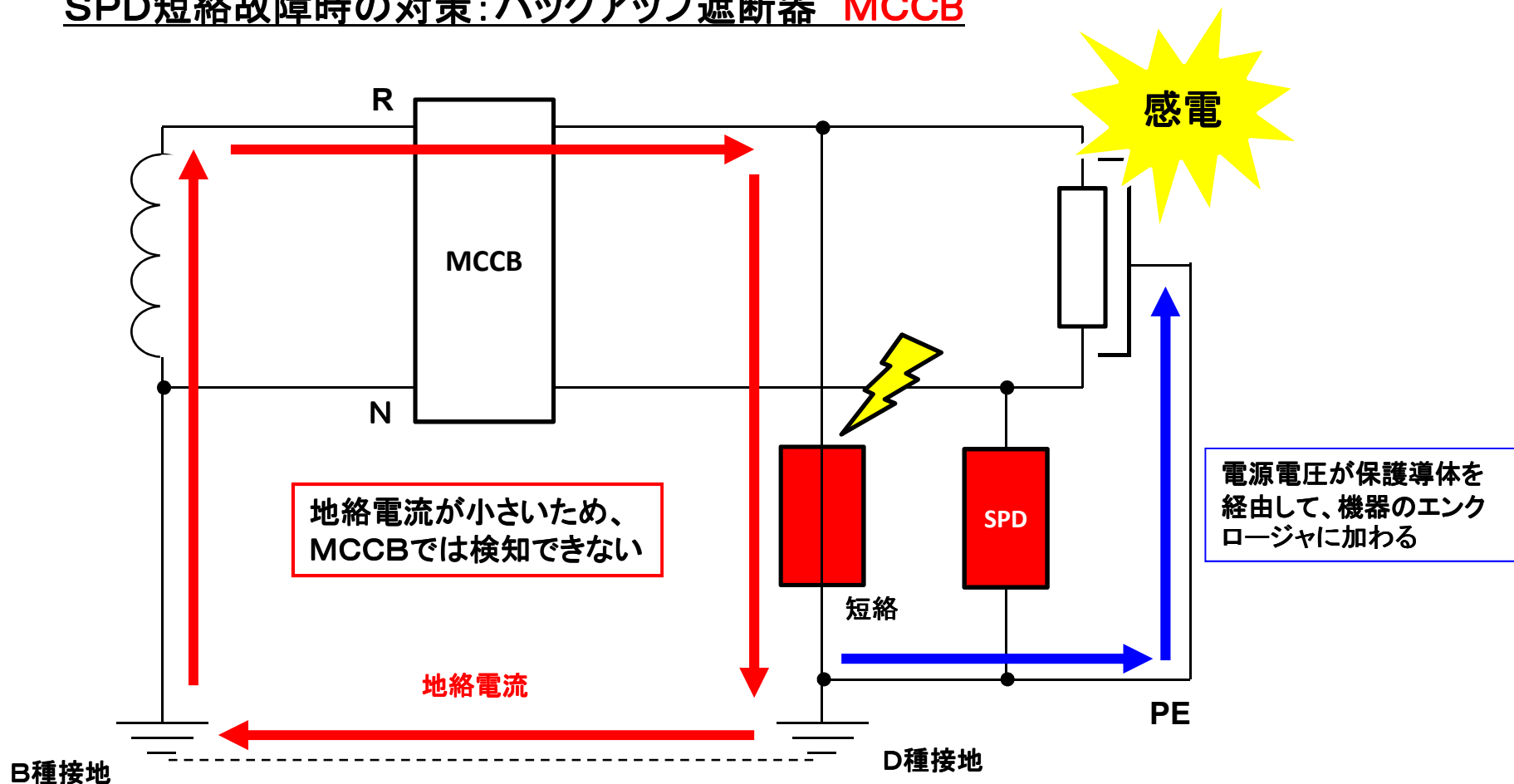


図16. SPD短絡故障時の電流経路 (バックアップ:MCCB)

【TT系統におけるSPD接続方法】

SPD短絡故障時の対策

SPDはL-N間に設置

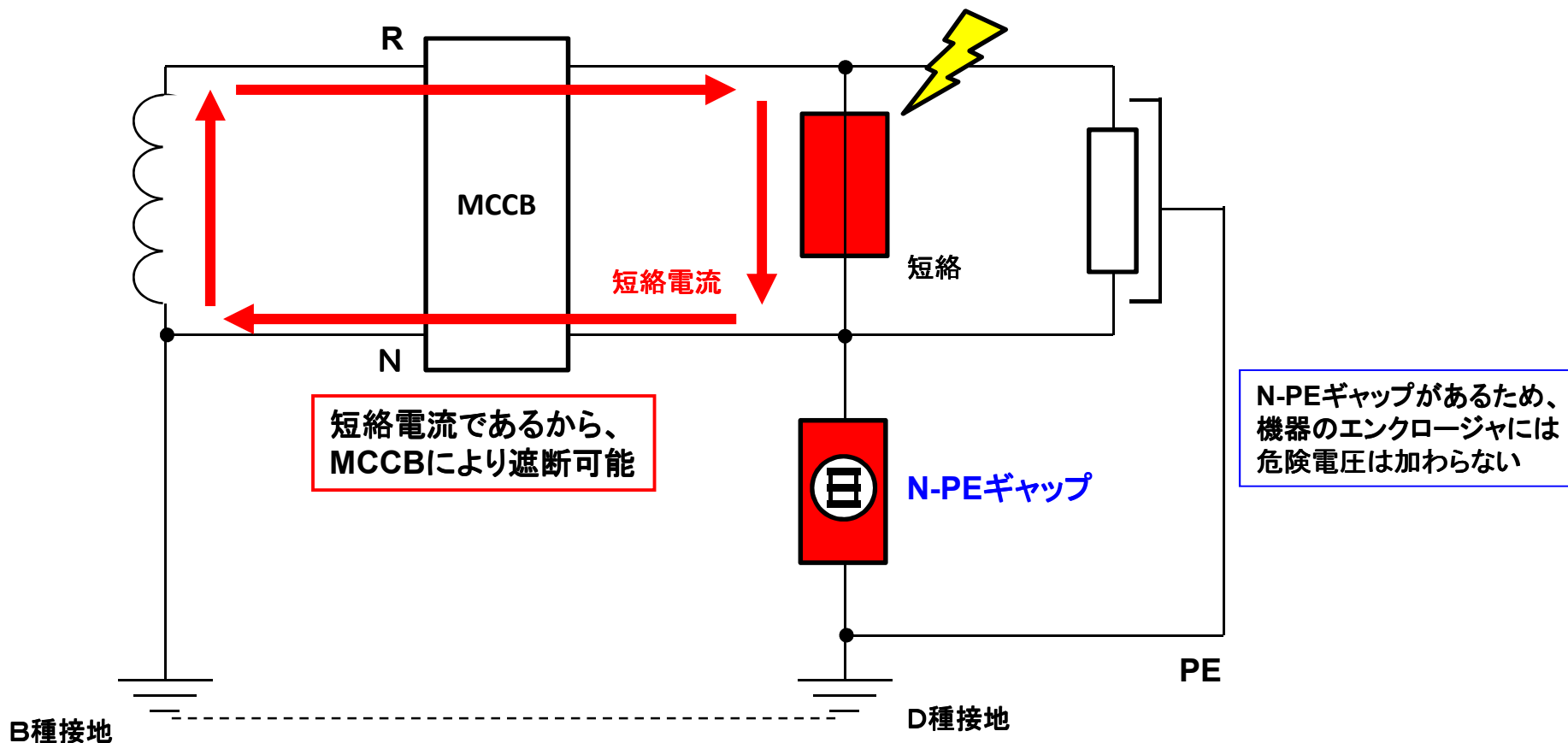


図17. SPD短絡故障時の電流経路 (バックアップ:MCCB)

【TT系統におけるSPD接続方法】

SPD短絡故障時の対策:バックアップ遮断器 ELB

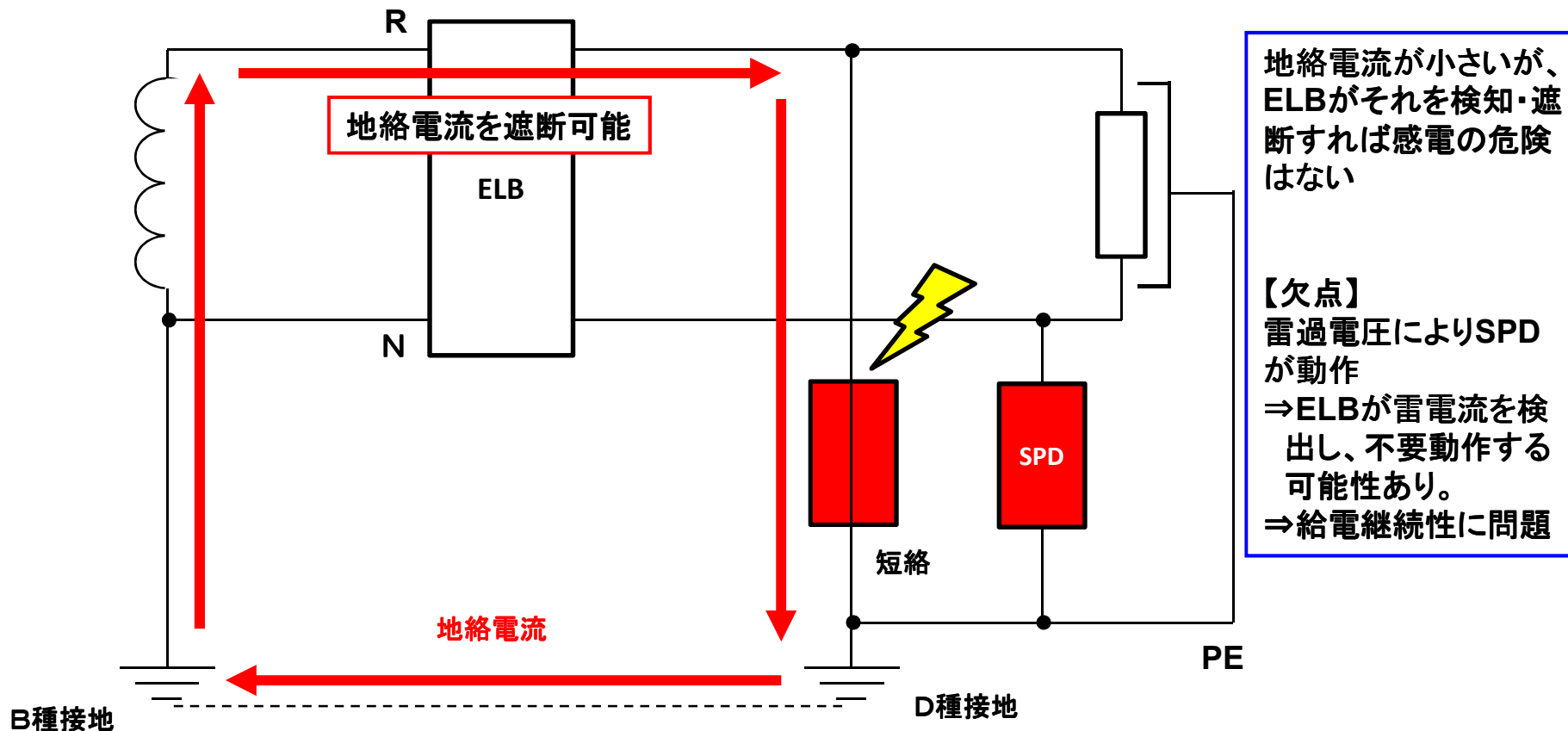


図18. SPD短絡故障時の電流経路 (バックアップ:ELB)

MCCBとSPDの組合せ

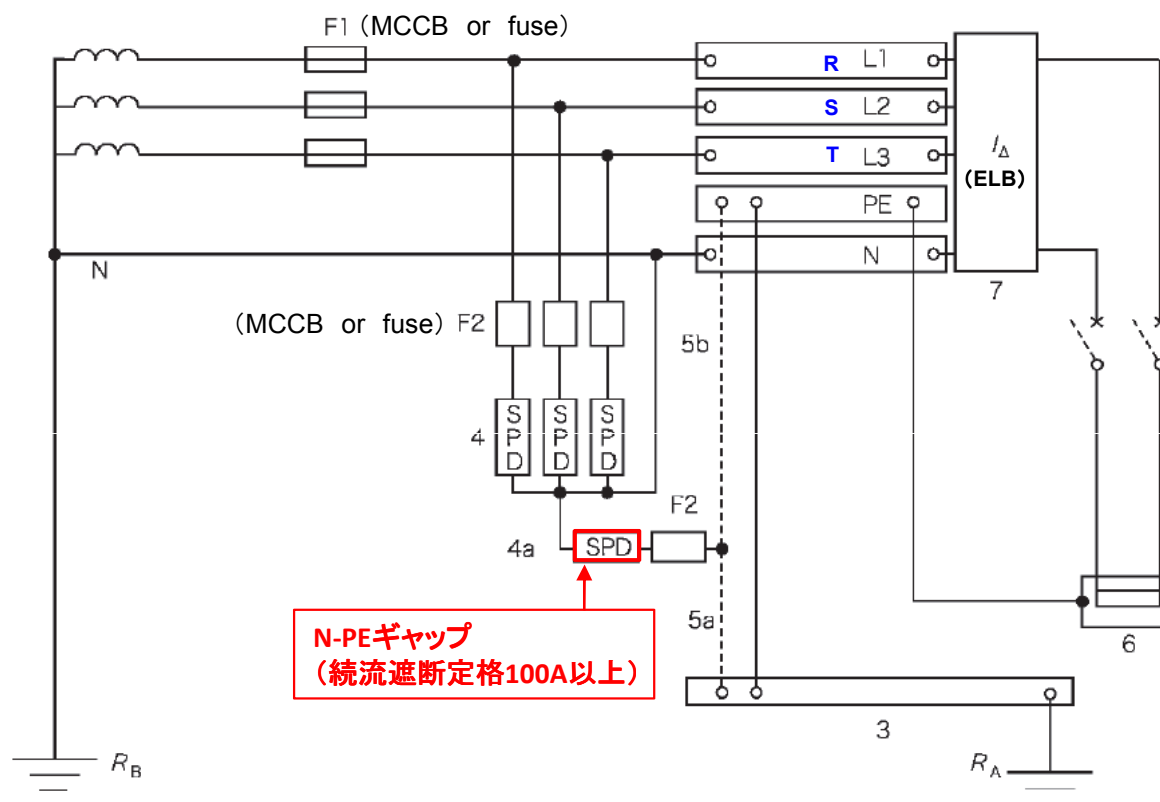


図19. TT系統においてELBの電源側に施設するSPD
(JIS C 60364-5-53 付属書B 図B.1)

ELBとSPDの組合せ

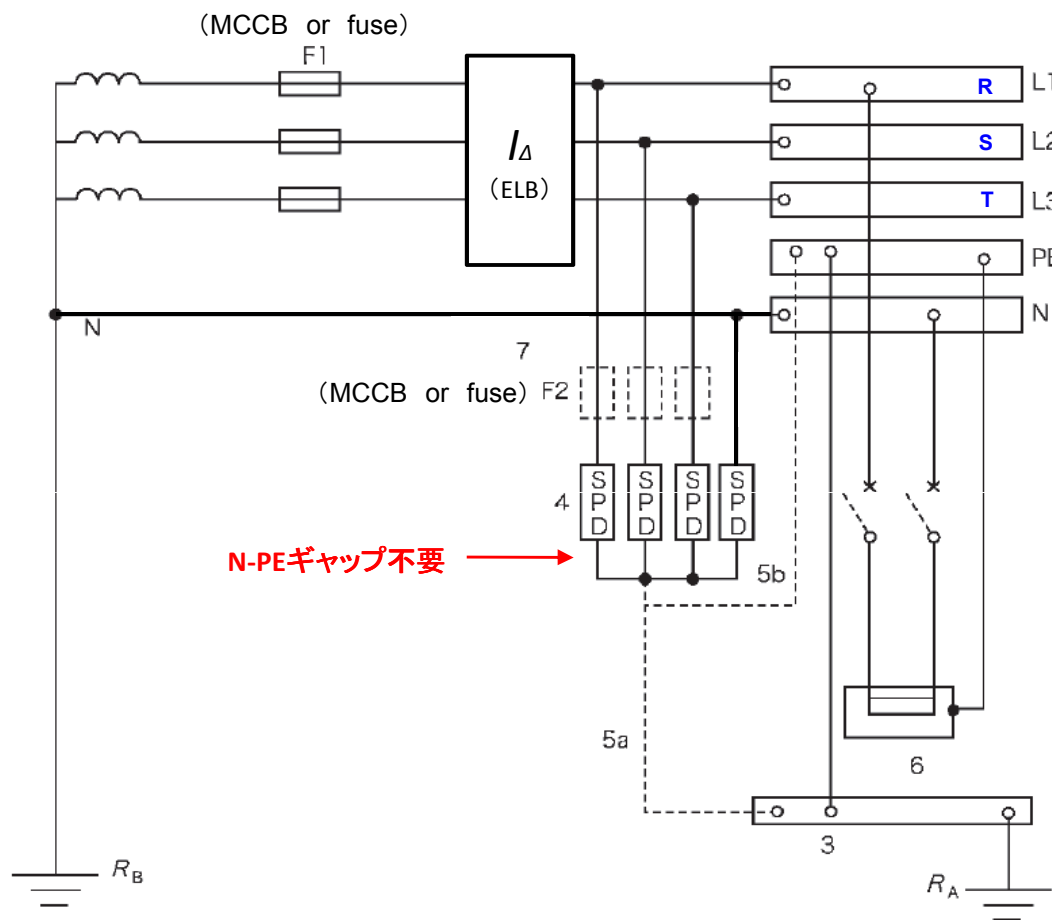


図20. TT系統においてELBの負荷側に施設するSPD
(JIS C 60364-5-53 付属書B 図B.2)

【N-PEギャップに要求される続流遮断性能】

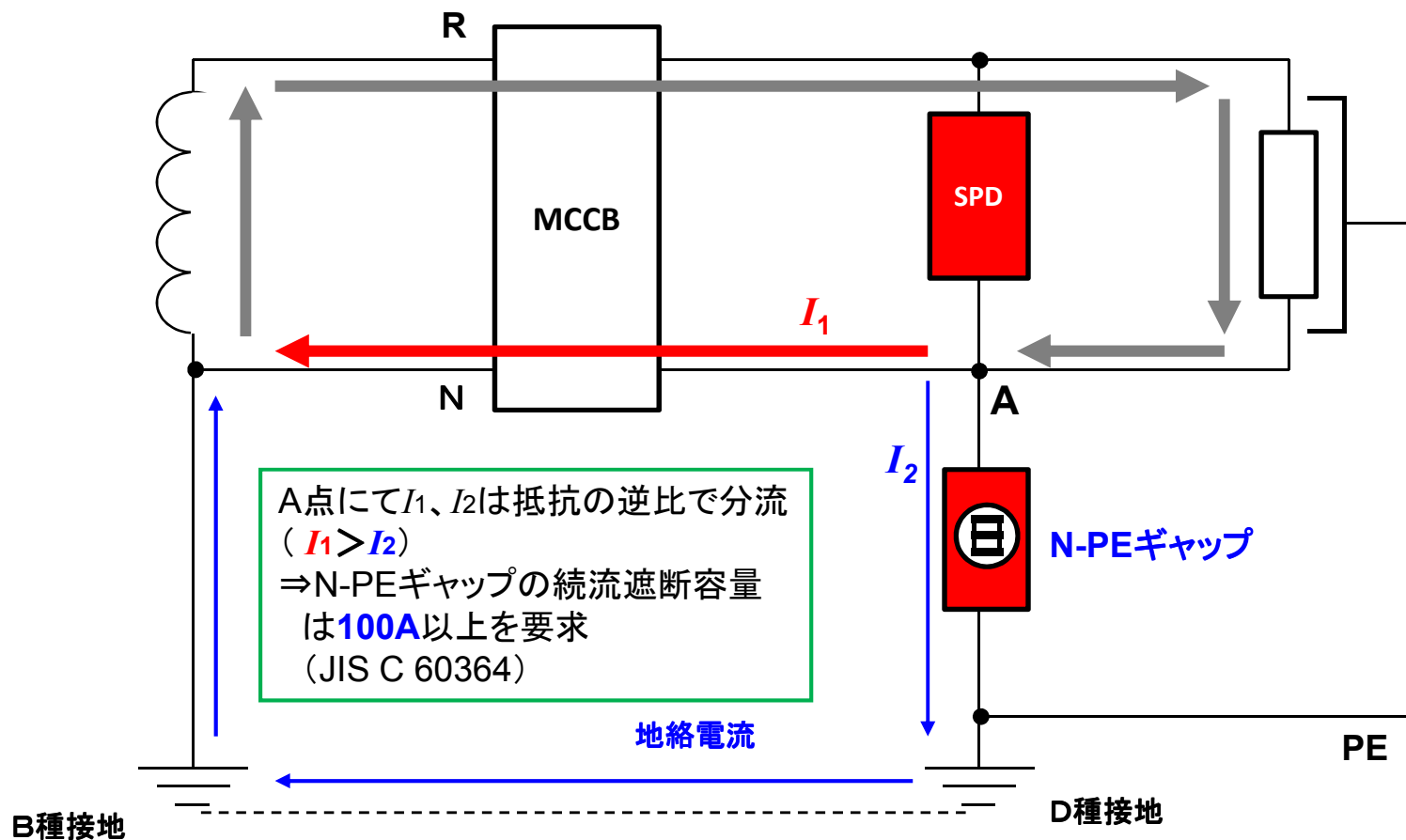


図21. N-PEギャップの続流遮断