

小特集

放電プラズマ・電磁界を応用した生物学・農学的研究

4. 高電圧放電による雑草除去

水野 彰

(豊橋技術科学大学)

Destruction of Weeds by High Voltage Discharge

MIZUNO Akira

Toyohashi University of Technology, Toyohashi 441-8122, Japan

(Received 23 March 1999)

Abstract

In an attempt to replace chemicals for weed control, high voltage spark discharge has been applied. With the application of high voltage, discharge takes place, and current flows through the stem and root. Microscopic observation indicates that cells are damaged. The electrical resistance of the damage plant's stems and roots decreased significantly. Several different types of apparatus were constructed, and field test results show the effectiveness of electrical discharge for weed control.

Keywords:

high voltage discharge, electrical discharge, spark discharge, weed, weed control

4.1 はじめに

最近、農場やゴルフ場での農業による水や大気汚染が問題になっており、また、農業生産物の農薬汚染も深刻な問題となっている。最近の環境問題に対する認識の高まりとともに、薬品使用の環境対策、安全性もコストとして考慮すべき時にきていると思われ、残留のない物理的除草や殺菌ができる高電圧放電の農業等への応用の可能性が高まってきた。高電圧放電の除草への利用に関しては古くから特許等が出されており、除草へ利用するために本格的な研究が行われた例としては、1970年代にソビエト連邦におけるもの[1,2]、1980年前後の米国企業によるもの[3-5]等があげられる。ソビエト連邦ならびに米国における研究は主として大規模農業への適用に主眼がおかれ、ピーク電圧値30~80 kV、放電エネルギー100 J/pulse程度の大容量のパルス電源を用いるもの、あるいは30~50 kVの大容量直流電源などを使用している。

author's e-mail: mizuno@eco.tut.ac.jp

日本において農業およびゴルフ場等の雑草除去に利用する際には、感電に対する安全性の確保、ならびに枯れ草への放電による着火防止の観点から、小容量の放電の利用を考える必要がある。以下に小容量の放電による除草除去技術を述べる。この方法は害虫や菌のコントロールを行える可能性も有している。

4.2 高電圧放電による雑草除去の基本的特性

4.2.1 放電距離の分布

Fig. 1のように針状電極に、直流電圧で充電したコンデンサをつなぎ、火花放電を発生させた[6]。サンプルとしてミミナ草(高さ 50 ± 5 mm)を使用した。針状電極の極性は正で、 $V=15$ kV、 $C=3,600$ pFである。電極から葉までの放電経路が形成され、それは葉の表面から茎へと続く。根から土への放電に伴う発光も観察される。

放電の利用は、放電が電極に近い草に発生することを

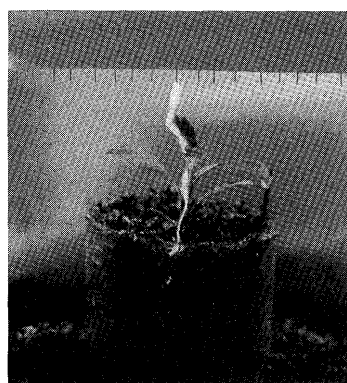
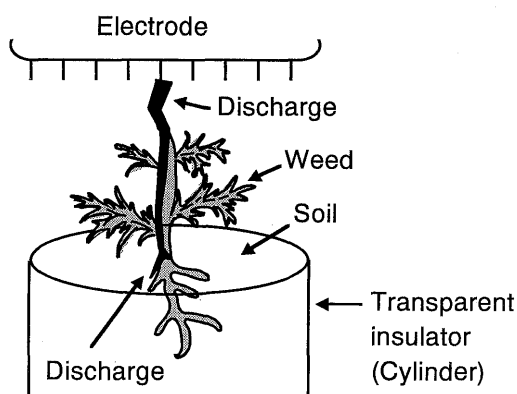


Fig. 1 Plused spark discharge to the weed.

利用して成長の速い雑草を選択的に除去できる可能性を有している。このため放電開始時の距離にどの程度の分布があるかを調べた。はじめに電圧 V を固定し、そして電極を移動させ火花放電が生じるまでその間隔を小さくしていった。パルス電圧の周波数は 30 kHz である。3~5 回放電した後サンプルはしおれ、その後新しいサンプルと取り替えた。正極性と負極性について各々 30 回計測した結果、 ± 15 kV および ± 20 kV の電圧では、放電発生時の電極間距離の分布の広がりは ± 0.5 mm の範囲であった。この結果は雑草がほかの植物や芝よりも 1 mm 以上高ければ、パルスの火花放電を選択的に雑草のみに加えることができることを示している。

4.2.2 ミミナ草損傷に必要な放電最小エネルギー

ミミナ草 (重量 0.5 ± 0.1 g, 高さ 50 ± 10 mm, 茎の直径約 2 mm) をサンプルとして使用した。室内用電極装置を用い、放電エネルギー $W (= \frac{1}{2} CV^2)$ はコンデンサ容量 C および電圧 V により調整した。雑草に対し 1 回のパルス火花放電を加え、その後サンプルを水が入ったシャーレに入れ、室温 $20 \sim 30$ °C で光の量が一定の部屋に

Table 1 The minimum discharge energy, W , for weed destruction.

	W (mJ)	C (pF)	V (kV)	Effect
(i)	0	0	0	--
(ii)	30	2700	5.0	×
(iii)	76	2700	7.5	△
(iv)	135	2700	10.0	○
(v)	304	2700	15.0	◎
(vi)	405	3600	15.0	◎

Sample: *Cerastium holosteoides*
 Effect: ×: No apparent damage
 △: Slightly withered
 ○: Withered
 ◎: Effectively withered

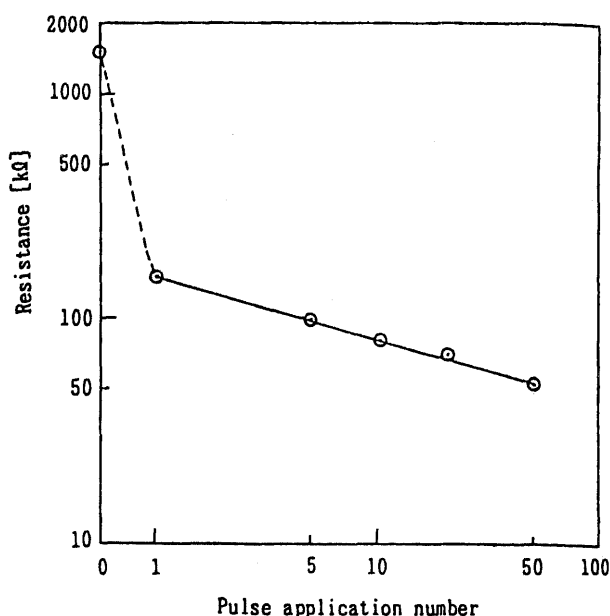
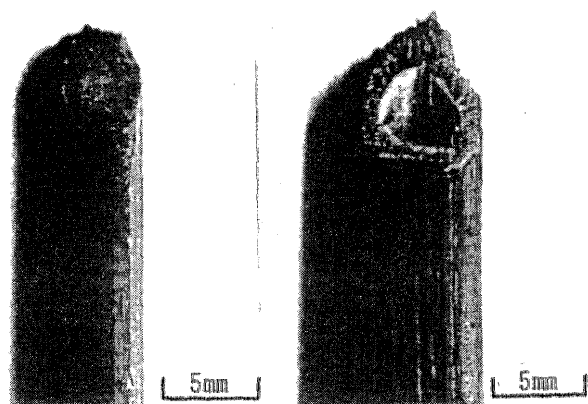


Fig. 2 Effect of the pluse application number on the electrical resistance of a weed.

サンプルを置いて培養し数日間それを観察した。Table 1 にその結果を示す。この雑草に損傷を与えて除去できる最小値は放電エネルギー $W = 76 \sim 135$ mJ 程度であった。

4.2.3 雑草の電気抵抗の減少

Fig. 2 は雑草 (ミミナ草) の茎部分での、電気抵抗 R の変化を示している。 $V = +15.0$ kV, $C = 18,000$ pF で放電させた後、直流電圧 15 kV をサンプルに印加して R を測定した。茎の両端にマチ針をさして測定用電極とした。その結果放電前 $1 \sim 2$ M Ω だった抵抗 R が、放電後 $100 \sim 200$ k Ω に低下した。その雑草は 1 回の放電の後すぐしおれ、さらに放電を行うと草の抵抗 R は徐々に減少した。パルス火花放電の印加により、植物組織の細胞壁が破裂し、導電性の経路が形成されたためではな



(a) Normal sample (b) Damaged sample

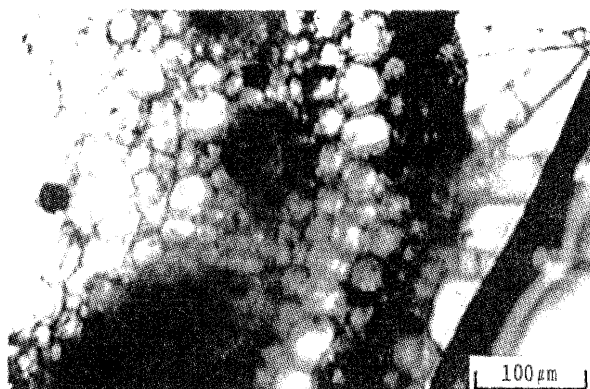
Fig. 3 Cross section of stems without (a) and with (b) the pulsed spark discharge.

いかと考えられる。

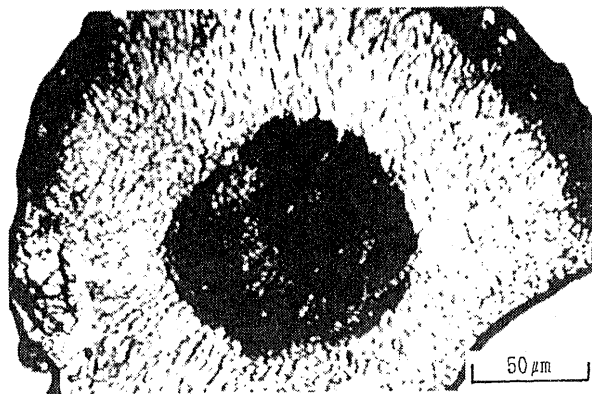
4.2.4 雑草(ケアリタ草, ミミナ草)の細胞の損傷の観察

Fig. 3に放電を加えたものと、加えてないもののケアリタ草(茎の直径6mmφ)の茎の切断面を示す。放電は周波数30Hzで、 $W=2J$, $V=+15.0kV$, $C=3,600pF$ で行った。この写真は放電後1日経過したものである。茎の直径は約6mmφで、放電後茎の中心は空洞となった。

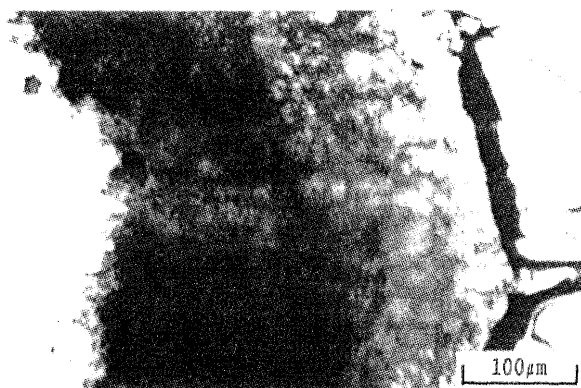
Fig. 4はミミナ草の茎および根の断面の顕微鏡写真である。1回のパルス放電は $W=405mJ$, $V=+15.0kV$, $C=3,600pF$ で行った。写真撮影の前に、維管束を着色させるため、放電を加えたサンプルの根を12時間黒インクに浸しておき、それからサンプルを切断し顕微鏡観察を行った。正常なサンプルは着色部分が限られており細胞壁が区別できるが、それと対比的に損傷を受けたサンプルは一様に着色されており細胞壁も不明瞭である。これらの観察結果は、パルス火花放電により、根と茎の細胞が破壊されたことを示している。



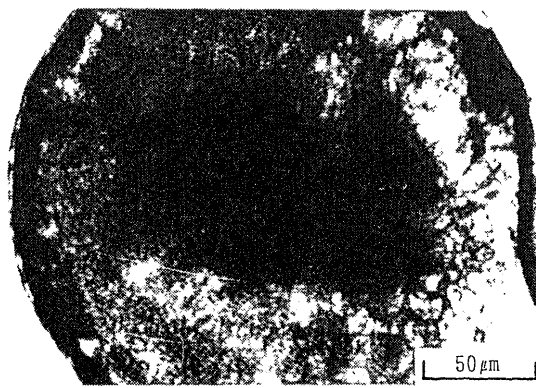
(a) Normal sample (Stem)



(c) Normal sample (Root)



(b) Damaged sample (Stem)

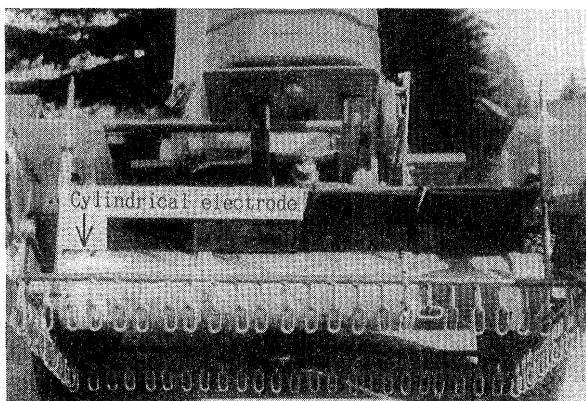


(d) Damaged sample (Root)

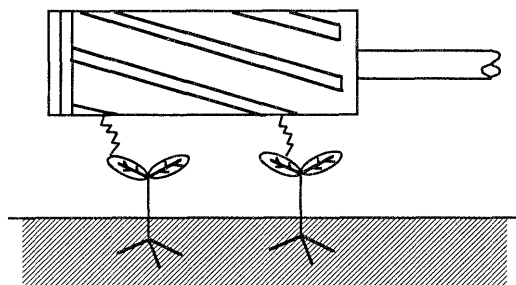
Fig. 4 Microscopic pictures of cross section of the stem stained with black ink.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Vehicle type pulsed discharge weed destructor.

4.3 放電雑草除去装置

4.3.1 自走式乗用型

Fig. 5 に自走式乗用型を示す[6]. この装置は主にゴルフ場などで芝から5~10 mmとび出て生えている多数の雑草を除去することを目的として製作された. Fig. 5 (b)のように, 円筒のPVC管の外径に螺旋状に放電電極(幅7.5 mm)を4枚取り付け, 放電電極の周りを囲むようにチェーンにより接地を行った. 高電圧の給電は,

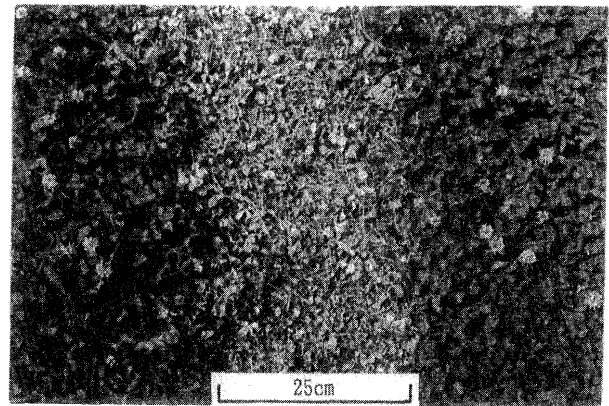


Fig. 6 Clovers with and without the pulsed spark discharge.

金属プレートから放電電極にアーク放電を起こすことにより行った. 本装置では安全性を考え, 1パルスあたりの放電エネルギーが2 J以下になるように1つの電極の幅を15 cmとして, この幅の電極を4個横に接続し, それぞれに放電エネルギー $W = 1.35 \text{ J}$, 充電電圧 $V = 15.0 \text{ kV}$, コンデンサ容量 $C = 12,000 \text{ pF}$ の高電圧電源を接続した. 電力は1 kWのエンジン発電機により供給した.

Fig. 5 (c)に示すように, 放電電極を取り付けた円筒を一定の速度で回転させて, 放電電極が雑草に近づく点を順次走査する. これは放電が一点のみで発生することを防ぎ, 電極に近づいた雑草に一律に放電を与えるためである. Fig. 6に示すように, 密集したクローバ等の小型の雑草の除去効果が確認されている.

4.3.2 ポータブル式ロッド電極型

ゴルフ場など手入れの良い芝生に生えてくる小形の雑草を除去するために持ち運びの容易な装置を試作した. Fig. 7にこのポータブル式ロッド電極型の放電雑草除去装置を示す[7,8]. 電源を軽量化するために交流高周波電圧を用いた. 周波数約30 kHz, ピーク値5 kV, 最大出力約300 Wの電圧を, FET素子で発振を行いフェライトコアで昇圧するインバータにより発生した. 電源は12 Vのバッテリーである.

この装置を実際に使用するには安全対策を十分施す必要がある. 接地センサー, 角度センサー, 電極カバー連動スイッチを取り付けた. バッテリーの片端子が接地しており, 電極の角度が下向きで人間に放電電極が向かう恐れがないときに, 電極カバーを後退して放電電極を露出することで電圧が印加できる. さらに電圧印加中であることを警告音で知らせる構造をとっている.

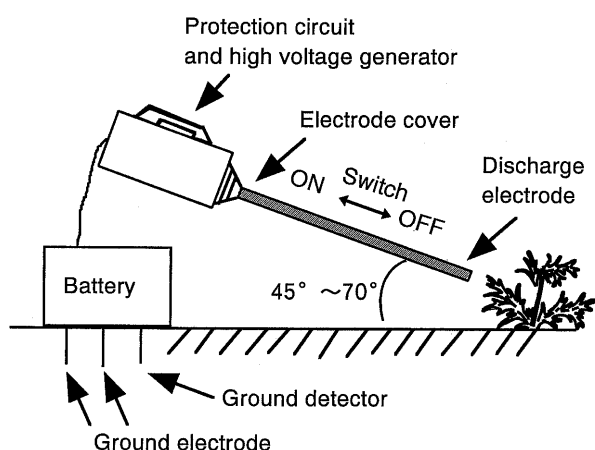
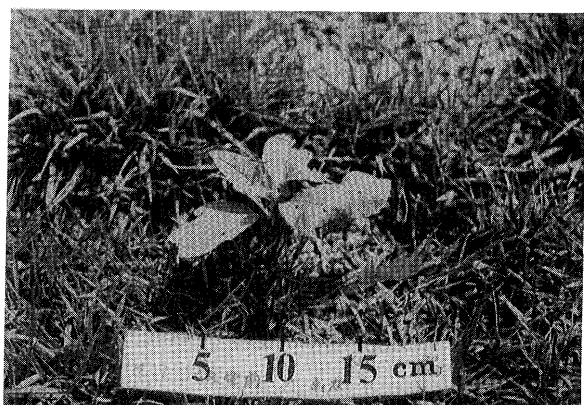
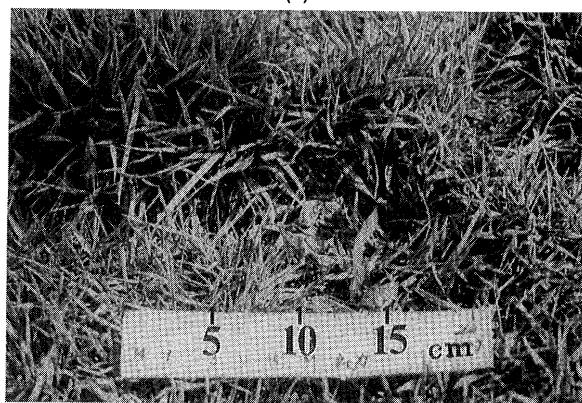


Fig. 7 Portable pulsed high voltage weed destructor.



(a)



(b)

Fig. 8 Weed destruction in the lawn. (a) Before applying high voltage. (b) 3 days after applying high voltage.

放電電圧を前述の自走式乗用型より低くした理由は、手入れの良い芝生でまばらに生え始めた小型の雑草を除去する時、電圧が高いと、芝より小さい雑草では、芝に放電してしまい、雑草には放電を与えることができないためである。本装置の動作電圧では放電開始距離は3

Table 2 Weed destruction using portable pulsed high voltage weed destructor.

Sample	Season	Discharge power [W]	Discharge duration [s]	Days to withered [day]
A	Spring	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
	Summer	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
B	Spring	170	3	2
		250	3	2
		330	3	2
	Summer	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
C	Spring	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
	Summer	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
D	Spring	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1
E	Spring	330	10	5
F	Spring	330	3	1
	Summer	170	3	1
		250	3	1
		330	3	1

mm 程度であり、除去したい雑草に電極先端がほとんど接触するまで近づくと放電が始まるため、小型の雑草や芝に埋もれた雑草にも放電を与えることができる。Fig. 8 にフィールドテストの例を示す。また、Table 2 に各種の雑草に対する放電電力、電圧印加時間と枯れるまでの日数の関係を示す。サンプルとしては、A.ウラジロチチコグサ、B.ツボミオオバコ C.ヨモギ、D.スギナ、E.タンポポ、F.セイタカアワダチソウ である。このロッド電極型装置は密集した雑草の除去には不向きである。大型の雑草に対しては、雑草の付け根に放電を与えると除草効果大きい。ただし放電中に雑草の先端部が作業者に触れないように注意をする必要があり、この点の安全性向上は今後の課題である。

4.3.3 ローター電極型

金属ワイヤの放電極を回転させ、雑草を切断しつつ放電を与える方式である。このロータリー電極型雑草除去装置を Fig. 9 (a) に示す[9]。放電電極はステンレス線

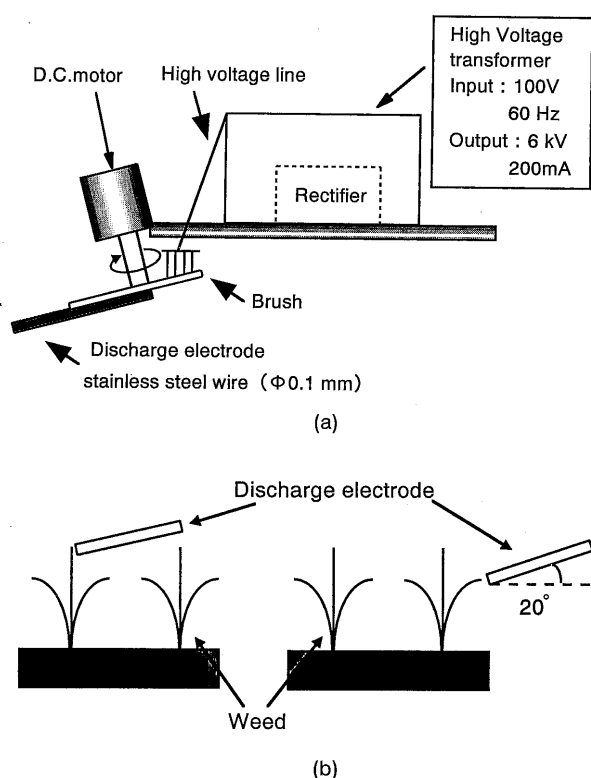


Fig. 9 Schematic view of rotary electrode type weed destructor.

($\phi 0.1$ mm) を200本束ね、直流モータにより毎分3,000回転で回転させる。直流高電圧電源の出力側の一端は、ブラシにより放電電極と接触しながら回転する銅板に接続する。出力側の他の一端は鉄製の車輪に接続し、地面と同電位にする。6 kV, 200 mA 出力の電源を用いて試験を行った。

Fig. 9 (b) のように放電電極は水平方向に対し約20度傾けており、一度切断し電圧を印加した雑草に対しては放電電極が当らぬようにして放電電流の分散を防ぎ、切断中の雑草に集中して放電を加えられるようにした。

夏時期にフィールドテストを行った結果、切断のみの場合は7日後に新芽がでていることが確認されたが、本装置で放電を加えながら切断した場合は7日程度ではほとんど復活した雑草は見られなかった。切断と同時に電圧を印加すると、切断面に火花放電が起こり、茎の内部から根を流れる電流経路ができやすくなるため、より確実な除草が可能であると考えられる。

4.4 特徴および課題

高電圧放電による除草は電流が葉、茎、根の組織を破壊することによるものであり、薬品を使用せずに行える

利点を有しており、閉じた空間での除草作業などでも安全性が高い。また、コンクリートの隙間など、切断等を行にくい場所に生えてくる雑草の除去にも有効である。

適用にあたっては以下のような課題もある。(1)春から夏にかけての雑草の成長の早い時期には、冬季に比べ放電による除草効果が顕著である。また雑草の種類と大きさ、根の太さ等によっても効果が異なる。このため、放電電力および放電時間を草の種類、時期に応じて調整する必要があり、そのためのデータ蓄積が必要となる。(2)放電を与えても効果が数日してから現れるため放電直後には確認できず、除草作業時に取り残しのないよう気をつける必要がある。放電した雑草に印をつける等の工夫が必要と思われる。(3)枯れ草が周りに存在する場合、特に冬期の乾燥した条件下での火災の発生を防ぐことも重要である。

以上のような課題も残されているが、高電圧放電による除草は環境を汚染しない特徴を有しており、安全な食糧生産のためにも利用されることが望ましい技術である。今後いっそうの技術開発により、省力化と安全性の向上を行うことで実用化が可能であると考えられる。

参考文献

- [1] V. Slesarev, *Zemledelie* **9**, 56 (1972), translated by W.R. Gill, Soil Scientist, USDA, National Tillage Machinery Laboratory.
- [2] M.F. Diprose and F.A. Benson: *J. Agric. Eng. Res.*, **30**, 197 (1984).
- [3] R.H. Pluenneke and W.G. Dykes, *Top Dessication of Crop Plants*, U.S. Patent No.4, 007, 794 (1976).
- [4] R.H. Pluenneke and W.G. Dykes, *Method and Apparatus for using Electrical Current to Destroy Grasses and Weeds*, U.S. Patent No.3, 919, 806 (1975).
- [5] R.H. Pluenneke and W.G. Dykes, *Apparatus for Selectively Applying Electrical Current to Plants*, U.S. Patent No.3, 935, 670 (1975).
- [6] 名倉章裕, 天満孝昌, 坂口恭生, 山野伸明, 水野彰: *静電気学会誌* **16**, 59 (1992).
- [7] A. Mizuno, A. Nagura, T. Miyamoto and A. Chakrabarti, *Conf. Rec. of IEEE/IAS Annual Meeting*, (1993), p.2000.
- [8] 宮本 徹, 木下勝弘, 水野 彰: *静電気学会講演論文集 '93* (1993) p.399.
- [9] 坂田清悟, 宮本 徹, 水野 彰: *静電気学会講演論文集 '95* (1995) p.197.