

PCPF-1モデルともみ殻成形炭粉末を用いた 水稲用除草剤の系外流出削減

ーゼロエミッション・循環型水田農業を目指してー

(独)農業環境技術研究所 化学環境部 有機化学物質研究グループ 高木和広

1. はじめに

水田での農薬の系外流出問題は、主に表面流出による河川水の汚染である。これは、水田の田面水が排水路を介して河川水に繋がっているため、水田で使用された農薬は田面水に溶解し、不適切な水管理や大量の降雨等により、河川に流入しやすいからである。近年、水田で使用された農薬の河川への流出については多くの調査研究が行われている^{1),2)}。その中で、5月の初旬に集中的に散布される水稲用除草剤(一発処理剤)の流出特性とその危険性(生態毒性)が明らかになっている。つまり、ゴールデンウィークに一斉に散布される一発処理除草剤は散布直後から河川水中で検出され、5月中旬に濃度ピーク(数十ppb)が出現し、6月下旬まで約2ヶ月間検出される。また、除草剤濃度がピークに達する5月中旬の河川水で緑藻*Selenastrum* (一次生産者)の増殖がほぼ完全に阻害され、回復するのは、除草剤が検出されなくなる6月下旬以降であることが明らかになっている³⁾。これらの研究から、水田からの除草剤の河川への流出が環境リスクを増加させていることは明白であり、如何にして流出量を削減するかが大きな研究課題になっている。従来、流出量の削減方法としては、除草剤散布後(少なくとも4日間)の止水管理により、河川に繋がる田面水の水田外への流出を出来る限り防ぐことが現場で指導

されている。しかし、実際には、水管理労力軽減のためかけ流し管理が横行し、多量の田面水が流出している。それ以外に、大量の降雨によるオーバーフローやずさんな畦畔・水尻管理による漏水により、田面水の流出防止による流出量の削減は殆ど実効を上げていない。そこで、筆者らは、実行が困難な田面水の流出防止ではなく、田面水中の除草剤濃度を低下させることにより、薬剤流出量削減技術の開発を試みた。開発に先立って、筆者らは、通常の水管理で薬剤流出量50%削減を目指した。そのために、まず筆者らが開発したPCPF-1モデル^{4),5)}(水田田面水と土壌表層中(0~1 cm)の農薬濃度の経時変化及び農薬の流出量を予測・解析できる。)を用いた数値解析により、薬剤の土壌表層からの脱着速度定数と土壌吸着係数の最適化を図った。なぜなら、この主要な2つのパラメータにより、田面中の薬剤濃度が決まり、制御が可能であると考えたからである。一般に薬剤の土壌吸着係数が高まれば、脱着速度定数は低下する。数値解析によるパラメータの最適化とは、PCPF-1に入力する21パラメータのうちこの反比例する2パラメータ値だけを変化させながら流出量を計算し、流出量が50%削減できる適当な値を見つけることである。そして、最適化条件に合うようにもみ殻成形炭粉末(農薬吸着資剤)を種々試作し、モデル水田系への添加試験や水田ライ

シメータにおける実証試験を通して、農薬の系外流出50%削減技術を開発した。以下にその詳細を解説する。

2. ゼロエミッション・循環型水田農業とは

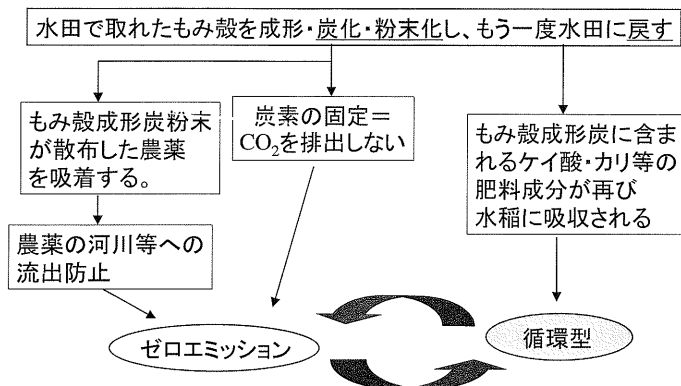


図-1 もみ殻成形炭粉末を用いたゼロエミッション・循環型水田農業の概念図

図-1 はもみ殻成形炭粉末を用いたゼロエミッション・循環型水田農業の概念図である。まずゼロエミッションであるが、農業廃棄物であるもみ殻の大半は野焼きされ、地球温暖化の原因となる CO_2 を排出していた。しかし、もみ殻を粉砕・成形して炭化(無酸素状態での熱分解)

すれば、炭素は固定され CO_2 は殆ど排出されない。しかも、製造したもみ殻成形炭は農薬等有機化合物の吸着資材となり、粉末にして水田に散布すれば、水田に散布された農薬(特に除草剤)の河川等への流出を大幅に削減できる。次

に循環型であるが、水田10aから発生するもみ殻量は約130kgである。130kgの籾殻から成型工程の水分蒸発(5%減)と炭化工程での熱分解(60%減)により約50kgのもみ殻成形炭が出来る。この成形炭全量を粉末にし、元の水田10aに散布する。後で詳述するが、もみ殻成形炭にはケイ酸やカリが多量に含まれているため、水田に散布すれば、これらの無機(肥料)成分は再び水稻に吸収され健全な水稻の生育に寄与する。つまり、ゼロエミッション・循環型水田農業になる。

3. PCPF-1モデルによる薬剤の土壌表層からの脱着速度定数と土壌吸着係数の最適化

<吸着・脱着プロセスの制御>

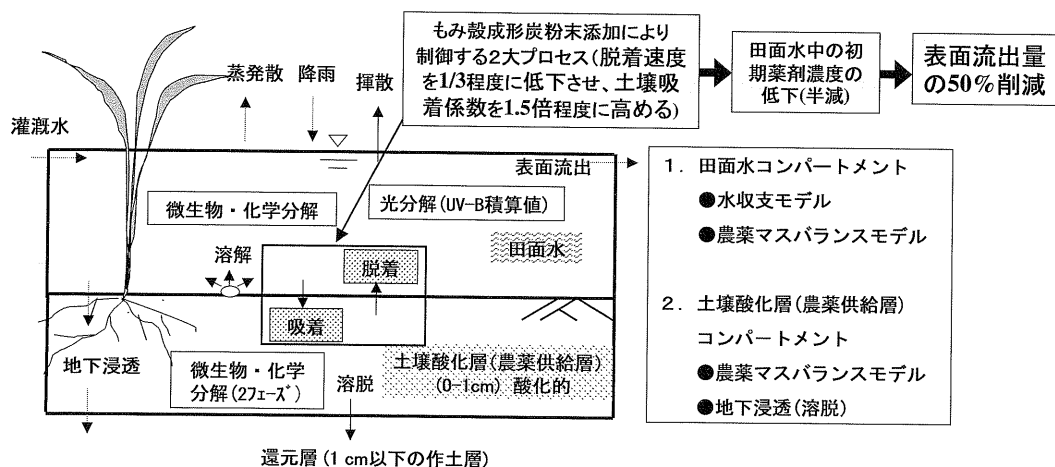


図-2 PCPF-1モデルにおける水田中の農薬挙動プロセスともみ殻成形炭粉末による制御(高木, 2003を一部改変)

PCPF-1モデルにおける水田中の農薬挙動プロセスともみ殻成形炭粉末を用いた制御を図-2に示す。PCPF-1モデルによる計算では、各種薬剤の土壌表層からの脱着速度定数を1/3程度に低下させ、土壌吸着係数を1.5程度に高めれば、田面水中の初期薬剤濃度が低下(半減)して、水稻用農薬の系外流出量を約50%削減することができることが明らかになった。

4. 農薬吸着・ケイ酸質資材としてのもみ殻成形炭粉末

もみ殻成形炭粉末はその製法及び特性においてももみ殻をそのまま蒸し焼きにして炭化したもみ殻燐炭と全く異なる。筆者が欣膳(株)と共同開発したもみ殻成形炭粉末は、温度制御可能な電気加熱炉を用い、もみ殻成形棒(もみ殻を粉碎・加圧成形したもの、 $\phi 54 \times 350 \text{mm}$)を一定の条件(焼成温度 650°C 4時間、 N_2 雰囲気下)で炭化し、粉碎・篩分(粒径 $0.25 \sim 0.5 \text{mm}$)したものである。この条件で炭化すれば、高いBET比表面積($140 \sim 150 \text{m}^2/\text{g}$)を有する

もみ殻成形炭粉末が製造できる。一般に、木炭等炭化物の有機化学物質吸着能はその比表面積に依存すると言われており、特に農薬等疎水性化合物の吸着能を評価する上で炭化物の比表面積は重要な指標である。もう一つの重要な特性としてもみ殻成形炭はケイ酸を約40%(ケイ素として18%)含むことである。炭素より重いケイ酸を多量に含むもみ殻成形炭は木炭より比重が高く、粉末にしても水に沈み易い。実際にもみ殻成形炭粉末を水田田面水に散布すると、数

時間で水田土壌表面に沈み、薄い農薬吸着層を形成することが出来る。また、もみ殻成形炭に含まれるケイ酸が水田土壌中で速やかに溶解すれば、ケイ酸質肥料として水稻の登熟歩合や耐病性・耐倒伏性の向上にも寄与すると考えられる。

5. もみ殻成形炭粉末添加による農薬の脱着速度定数と土壌吸着能(係数)の制御

タイプの異なる3種類的水稻用除草剤(プレチラクロール(PTC)、ジメタメトリン(DMT)、イマゾスルフロン(IMS))を用いてモデル水田系で薬剤の脱着と土壌吸着試験実施し、各々の脱着速度定数と土壌吸着係数を求めた(表-1)。その結果、もみ殻成形炭粉末を水田土壌表層に $50 \text{g}/\text{m}^2 (=50 \text{kg}/10 \text{a})$ 添加することにより、各種除草剤の脱着速度定数は約1/3に低下し、土壌吸

表-1 もみ殻成形炭粉末添加剤による各種除草剤の脱着速度定数と土壌吸着係数の変化
(高木, 2003)

除草剤名	脱着速度定数			土壌吸着係数		
	成形炭無添加 (k_{des})	成形炭添加 (k_{des}')	k_{des}'/k_{des}	成形炭無添加 (K_d)	成形炭添加 (K_d')	K_d'/K_d
プレチラクロール	0.1262	0.043	0.34	13.03	19.14	1.47
ジメタメトリン	0.0722	0.032	0.44	15.02	24.98	1.66
イマゾスルフロン	0.0571	0.018	0.31	11.91	25.49	2.14

着係数が1.5~2倍に高まり、脱着速度定数と土壌吸着係数を最適化できることが明らかになった。

6. PCPF-1を用いたもみ殻成形炭処理による水田からの除草剤流出削減量の推定

モデル水田にもみ殻成形炭粉末を添加($50 \text{g}/\text{m}^2$)して制御・最適化したPTCとIMSの脱着速度定数(k_{des}')と土壌吸着係数(K_d')(表-1)をPCPF-1モデルに入力し、各除草剤の水田からの

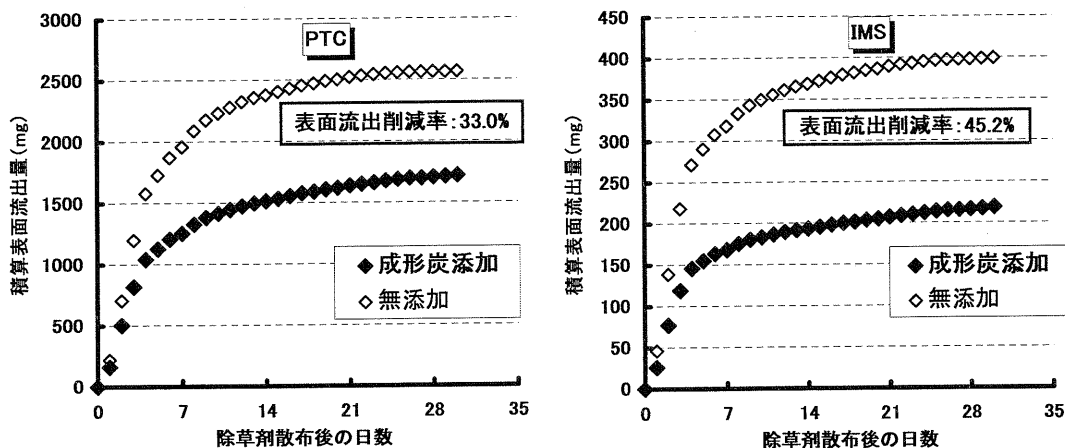


図-3 PCPF-1モデルを用いたもみ殻成形炭粉末処理による水田からの除草剤(PTC, IMS)流出削減量の推定 (高木, 2003)

流出量(表面流出と地下浸透)を散布後30日間計算し、成形炭無添加の場合と比較した。但し、成形炭添加により他の17種の入力パラメータは変化しないと仮定して計算を行った。また、計算に必要な水田の水収支データは1998年の農環研水田圃場の実測データを使用した。もみ殻成形炭添加によりPTCとIMSの表面流出量は無添加と比べそれぞれ33、45%削減されると計算された(図-3)。

末処理による系外流出削減実証試験

PCPF-1モデルを用いて推定したもみ殻成形炭処理による水田からの除草剤流出削減量を検証するため、灰色低地土(作土層の土性:LiC, pH: 6.5, 有機炭素含量:2.1%)を充填した水田ライシメータ(2x2x2m)2基(PL1とPL3)を用いて実証試験を行った。PL1が成形炭処理区、PL3が無処理区である。水稻移植5日後、両区にハヤテ3kg粒剤(PTC:1.5%, IMS:0.3%, DMT:0.2%含有)を12g(3kg/10a)ずつ均一に散布した。除草剤散布1日後にもみ殻成形炭粉末200g(50kg/10a)

7. 水田ライシメータを用いたもみ殻成形炭粉

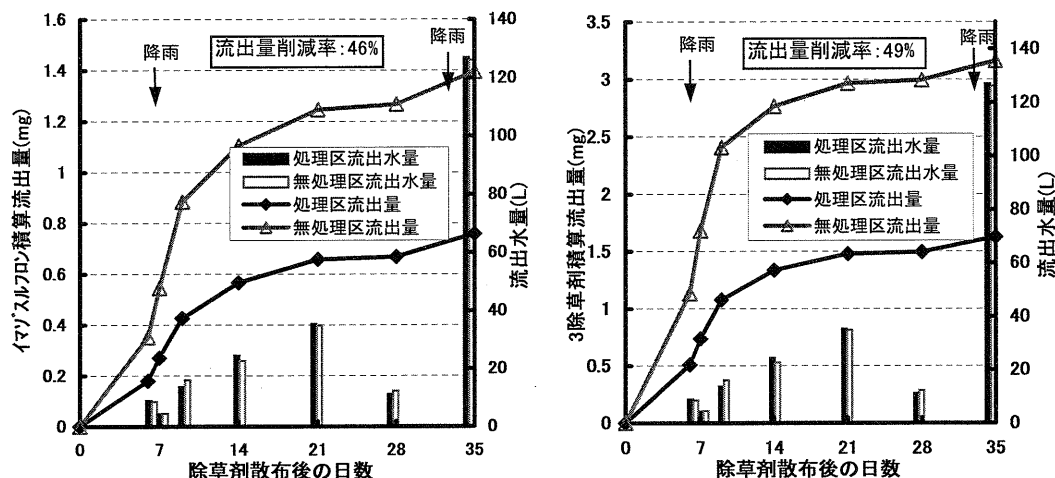


図-4 もみ殻成形炭粉末添加による水田ライシメータからの各種除草剤の表面流出量の削減(高木, 2003)

をPL1区に均
一に散布した。

表-2 もみ殻成形炭粉末添加による各種除草剤殺草効果の変動(高木, 2003)

薬剤名	除草剤量 (a. l. g/10a)	除草剤量 製品g. ml/区	成形炭量 (g/区)	ノビエ	コナギ	一年生 広葉	ホタルイ
ブレチアクロル12%乳剤	40	0.0133	0	100	99	100	100
	40	0.0133	2	100	99	100	100-90
メフエナセット4%粒剤	100	0.1	0	100	90	70	50
	100	0.1	2	100	80	50	40
ザ-クD(L)1和粒剤	100+5.1+45	0.04	0	100	100	98	95
	100+5.1+45	0.04	2	95	100	98	95

注1) 成形炭粉末(比表面積:145m²/g)は, 除草剤施用1日後に田面水に散布した。

注2) 除草効果は, 調査時の地上部生育量より101点法(0:無処理区同等~100:完全枯死)で表示した。

濃度をHPLCで

定量した。調査期間中の両区の積算表面流出水量はそれぞれ225Lであった。除草剤散布1日後にもみ殻成形炭粉末を水田に散布することにより, PTC, IMS, DMTの表面流出量は成形炭無添加と比べそれぞれ46, 46, 64%削減され, 3剤合計で49%削減された(図-4)。流出量削減の要因としては, 理論どおりもみ殻成形炭添加後の各薬剤田面水濃度の低下(半減)であることが明らかになった⁶⁾。これらの結果から, PCPF-1モデル計算による除草剤の表面流出量削減率は妥当であり, PCPF-1を用いることにより農薬の水田系外流出削減技術を効率よく開発することができる。また, PCPF-1を用いて, 薬剤の土壌表層からの脱着速度と土壌吸着係数の最適化を図ることにより, 異なる土壌・気象・水管理条件の水田圃場でも本技術の利用が可能である。

み殻成形炭粉末散布(50g/m²)による各種除草剤(PTC, メフエナセット(MF), ザ-クD(MF:10%, ペンスルフロンメチル(BSM):0.51%, ダイムロン:4.5%含有))の殺草効果変動試験を行った。その結果は, 雑草防除の専門家の指摘に反し, もみ殻成形炭粉末添加により各種除草剤の殺草効果は殆ど低下しないことが明らかになった(表-2)。殺草効果の低下を回避できた要因としては, もみ殻成形炭の散布時期が考えられる。つまり, 散布1日後には既に土壌表層に薬剤の処理層が形成されているため, もみ殻成形炭粉末がその上に添加されても処理層中の除草剤濃度(殺草活性に深く関与)が低下することはない。むしろ, 給水により処理層から田面水へ脱着する薬剤を吸着するため処理層中の薬剤濃度は無添加の場合より高く維持されるはずである。こ

8. もみ殻成形炭粉末処理が水稻用除草剤の殺草効果と残効期間に及ぼす影響

もみ殻成形炭粉末のような農薬吸着剤を水田に散布することにより, 除草剤の殺草効果が低下する可能性が指摘されていた。そこで, 筆者らは5種類の雑草種子を播種した杵水田(0.2x0.2m)を用いても

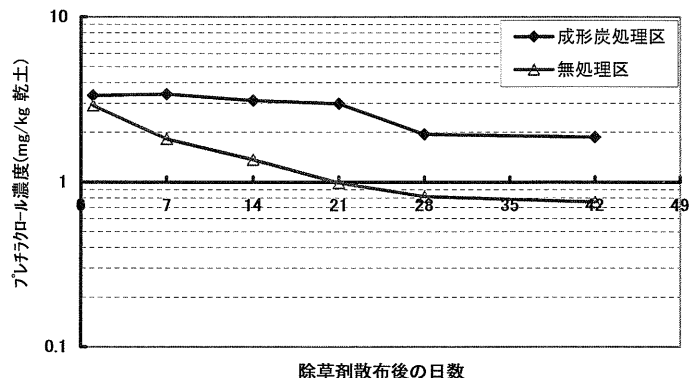


図-5 もみ殻成形炭粉末添加による水田表層土壌(0-1cm)中のPTC濃度の変化(高木, 未発表)

の仮説を検証するため、上記の実証試験期間中に成形炭処理区と無処理区の水田表層土(0～1 cm)を定期的に採取し、除草剤濃度を測定した(図-5)。予想どおり土壌表層中のPTC濃度は、成形炭処理区が無処理区より高く維持されており、散布6週間後でのPTC濃度は処理区が無処理区の2倍以上高かった。IMSとDIMについても同様の傾向を示した。つまり、もみ殻成形炭粉末を水田に散布すれば、土壌表層(処理層)中の除草剤濃度は無処理(慣行栽培)と比べ2倍以上高く維持されるため、残効期間が大幅に延びると考えられる。言い換えれば、除草剤散布量を半減しても慣行量と同等の残効期間(6週間)を維持できると言うことである。除草剤散布量を半減させた場合の殺草効果試験については、減農薬・高品位米の開発を目指して平成16年度から富山の農業生産法人と共同で大規模圃場試験を行っており、良好な結果を得ている。

9. 今後の課題

研究開発した技術を生産現場で普及させるためには、幾つか課題が残されている。まず、もみ殻成形炭粉末を大規模水田圃場に簡便・均一に散布する方法の開発・検証が必要である。この点に関しては、背負形動力散布機に多口ホースを取り付け粉剤や細粒剤の散布と同様な方法で散布すれば、水田に入ることなく20aの水田圃場に均一に散布できること検証した。次に、高品質(比表面積140m²/g)なもみ殻成形炭を大量・安価に製造する技術を確立しなければならない。研究で使用したバッチ式炭化炉では大量・安価には製造できないため、現在は炭化炉メーカーと共同で、水平ロータリーキルンを用いた連続炭化技術の開発を行っている。最後に、もみ殻成形炭粉末のケイ酸質肥料としての効果を

検証する必要がある。一般に、水田に施用されたもみ殻からケイ酸が溶解し、水稻に利用されるには時間がかかるといわれている。しかし、もみ殻成形炭粉末は多孔質な微粉末であるため、ケイ酸の溶解速度はもみ殻より速いと考えられる。ケイ酸質肥料として市場で流通しているケイ酸石灰(ケイカル)と比較して、水稻へのケイ酸供給効果を検証する予定である。

10. おわりに

平成11年に日本でもPRTR(Pollutant Release and Transfer Register)制度が導入された。この制度により、指定された有害化学物質を製造・使用している事業者(主に製造業)は、環境中に排出した量と廃棄物として処理するために事業所の外へ移動させた量とを自ら把握し、行政機関に年1回届け出なければならない。そして、行政機関はそのデータを整理・集計して公表する。つまり、PRTR制度により事業者は自主的に有害化学物質の管理を強化し、環境への排出量を削減すると期待される。しかし、食糧生産の過程で多くの化学物質(農薬、化学肥料等)を使用する農業(＝食糧製造業)は、この制度の対象業種になっていない。PRTRの対象物質の中には農薬も含まれており、環境規制が厳しくなるなか、農業(農業従事者)だけを例外扱いに出来なくなる時代が必ずくる。次世代によりよい環境を残してやるためにも、農業従事者自らが積極的に農薬の管理を強化し、河川等水系への流出量を削減する努力をすべきである。また、最近では「食の安全・安心」をサポートする政策として環境保全型農業に積極的に取り組む中核農家や農業生産法人に対する「直接支払い制度」の導入が議論されており、環境農業に対する農家の関心が高まっている。筆者らの開発した農

薬の系外流出削減技術はPRTR制度や直接支払い制度をサポートできる技術である。一人でも多くの農業従事者、関係者がこの技術に興味を持ち、実際の現場で使ってもらえれば幸いであり、そのことがゼロエミッション・循環型水田農業の確立につながると信じている。

参考文献

- 1) 丸論(1985)：千葉県内河川の農薬モニタリング。生態化学。8(3)，3-10。
- 2) 井上隆信・海老瀬潜一(1996)：水田からの農薬流出の定量評価。農薬環境科学研究。4，13-25。
- 3) Hatakeyama, S. et al.(1994)：Assessment of herbicide effects on algal production in the Kokai River(Japan)using model stream and *Selenastrum* bioassay. Ecotoxicol.. 3, 143-156。
- 4) Watanabe, H. and Takagi, K.(2000)：A Simulation Model for Predicting Pesticide Concentrations in Paddy Water and Surface Soil. I.Model Development. Environ. Technol.. 21, 1379-1391。
- 5) 高木和広・渡辺裕純(2001)：13章シミュレーションモデルによる土壌環境中での農薬の動態予測。農薬学事典。pp. 419-457，朝倉書店。
- 6) 高木和広(2003)：粉がら成形炭粉末による農薬の水田系外流出削減。農業技術体系土肥編第3巻，追録第14号，pp8-18，農文協。

省力タイプの
高性能一発処理除草剤
シリーズ

問題雑草を一掃!!

投げ込み用 水稻用一発処理除草剤

マサカリ
ジャンボ

投げ込むだけ!!

水稻用初・中期一発除草剤

ダイナマン

フロアブル 1キロ粒剤75

ダイナマンにお任せ!!

少量拡散型 水稻用一発処理除草剤

ダジングパワー
500グラム粒剤

容器を振るだけで済む!!

●使用前にはラベルをよく読んでください。
 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。
 ●本剤は小児の手の届くところには置かないでください。
 ●空容器は密閉して保管し、環境に汚染のないように適切に処理してください。

日本農薬株式会社
 東京都中央区日本橋1丁目2番5号
 ホームページアドレス <http://www.nichino.co.jp/>