日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）78（2）：242―249（2009）

研究・技術ノート

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子が湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響

古畑昌巳[1)]・帖佐直[1)]・松村修[1)]・湯川智行[2)]
（[1)] 中央農業総合研究センター北陸研究センター，[2)] 農研機構本部）

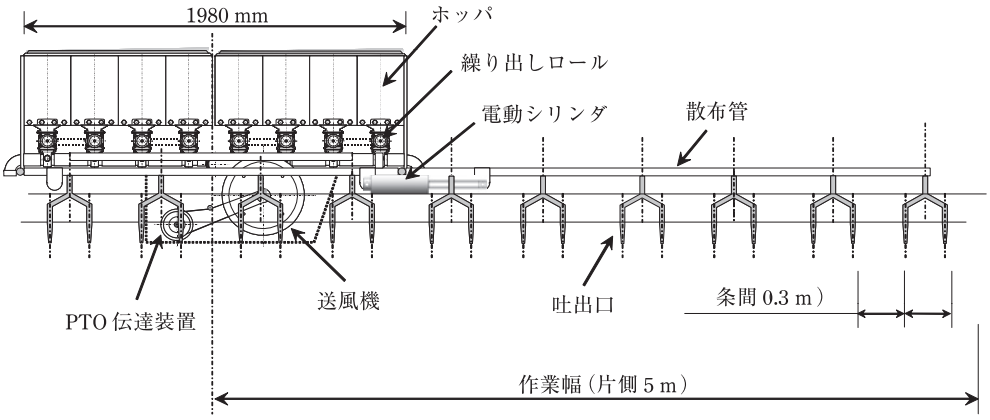
要旨：エアーアシスト条播機と鉄コーティング種子を利用した湛水直播栽培体系を確立する目的で，異なる酸化程度とした鉄コーティング種子を供試してホッパーおよびバットに集積して酸化を進めた条件において種子の発熱と発芽率の推移を調査し，同時に圃場を使った機械播種条件で出芽・苗立ちを検討した．ホッパーに集積した条件では，還元鉄（密封）区では集積後，短時間で発熱および発芽率の低下が確認され，酸化鉄（密封）区では発熱および発芽率の低下は緩やかに進行した．また，圃場およびポット試験の結果，播種後（集積後）の発芽率は酸化鉄（密封）区，還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区の順となり，この結果が苗立ち率および茎葉部乾物重に反映された．以上の結果，催芽種子に酸化鉄をベースに鉄コーティングした種子では，発熱リスクを回避し易く，圃場の大規模化あるいは大区画化に対応した機械播種体系において出芽・苗立ちを確保しやすいことが示唆された．

キーワード：イネ，酸化，出芽，湛水直播，鉄コーティング種子，苗立ち，発芽，発熱．

北陸や東北のような播種時期が冷涼な地域では，湛水直播栽培における出芽・苗立ち確保のために播種後落水管理を導入することによって除草剤投入のタイミングを逸しやすいことが報告されている（酒井・佐藤 1998，山本・菊池 2006）．また，前報（古畑ら 2009）において，鉄コーティング湛水直播では生育の遅れによってそれがさらに助長される可能性があることから，寒冷地における鉄コーティング直播栽培では出芽・苗立ちを早進化させる技術の導入が必要であることを指摘している．山内が提唱する従来法（2004）では籾水分の少ない活性化種子（種子消毒後，常温で 1～2 日浸種後に乾燥させた種子）に還元鉄と石膏等ののり成分を混合したものをコーティングした後に酸化させた種子を利用している．これに関して，過酸化カルシウムコーティング技術と同様に催芽種子を利用した場合，活性化種子に比べて低温条件で出芽・苗立ちが早まって出芽・苗立ちが向上することが報告されている（古畑ら 2007a）．一方，催芽種子では籾水分が高いために集積して酸化させた場合，一定以上の厚さで短時間に発熱すること（関矢ら 2006，吉住ら 2006）から，発熱と同時に発芽率の著しい低下が生じる可能性がある．それに対して，酸化鉄をコーティング資材のベースとして用いた場合には集積時の発熱量が小さくなること（関矢ら 2006）から，この技術を導入・確立できれば，寒冷地での鉄コーティング直播栽培における出芽・苗立ちの早進化と種子発熱のリスク低減を同時に達成でき，従来法に比べて寒冷地に導入するメリットが高まると考えられる．一方，催芽種子に鉄コーティングした後に集積した際の発熱と発芽率との関係は明らかでなく，集積時の発熱リスク評価が十分におこなわれていないことから，実際の機械播種体系を想定した条件で発熱リスク評価を行う必要性がある．

さらに，米の輸入自由化が迫られ，国内の水稲栽培により一層の省力・低コスト化が求められている中で今後，圃場の集積等により圃場の大規模化あるいは大区画化に対応できる省力・低コスト技術が必要になるため，現在，北陸研究センターでは，エアーアシスト条播機（第 1 図）の開発を行っている（帖佐ら 2007，2008）．この播種機は作業幅が 10 m で，トラクタの PTO を動力源とした送風機により種子が吐出口まで送られ，条間 30 cm の条播を行う構造をしている．また，この播種機の走行速度を 0.8 m s^{-1}，圃場作業効率を 70％と仮定した場合，播種作業量が 30 分 / ha となるため，今後，この播種機と鉄コーティング種子を併用した技術確立によってさらなる省力・低コスト化が可能であると考えられる．一方，催芽種子に還元鉄をコーティング後にエアーアシスト条播機で播種した区の苗立ち率が催芽区に比べて低くなる事例が認められた．この事例では，区間で播種深の差が認められなかったことから，コーティング後の酸化時，あるいはホッパーでの集積時に発熱した熱が内部にこもって高温となり，発芽率が低下した可能性が考えられた．また，鉄コーティング種子の播種は一般的には表面播種とし，土中播種は避けるとしている（山内 2004）が，エアーアシスト条播機を利用した湛水直播では耐倒伏性の強化や作業管理性の向上を目的とした条形成を促すために吐出口を絞った形にしており，それによって吐出口での風速が強まって，土中に種子が深く入る事例も認められた．そこで本試験では，エアーアシスト条播機と鉄コーティング種子を同時に利用した湛水直播栽培体系を確

2008 年 10 月 4 日受理．連絡責任者：古畑昌巳　〒 943-0193 新潟県上越市稲田 1-2-1
TEL 025-523-4131，FAX 025-524-8578，furuhata@affrc.go.jp



第 1 図　エアーアシスト条播機の概要.
帖佐ら（2008）より作成.

立する目的で，コーティング材料およびコーティング後の酸化条件の違いによって異なる酸化程度とした鉄コーティング種子を供試してホッパーでの集積条件およびコーティング後の酸化条件において種子の発熱と発芽率の推移を調査した．また，圃場を使った機械播種条件で出芽・苗立ちを検討すると同時にポットで表面播種から土中播種まで異なる播種深を設けて，出芽・苗立ちを詳細に評価した.

材料と方法

試験 I

コシヒカリを供試し，種子消毒後に 7℃で数日浸種した後, 催芽した．催芽程度（ハト胸程度となった種子の割合）7〜8 割とした催芽種子に対して，資材をコーティングせずに播種まで 1 日間 7℃で保管した種子（以下催芽区とする），催芽程度 8 割以上とした催芽種子に対してコーティング量が乾籾重の 0 . 3 倍量になるように還元鉄粉 90％と焼石膏 10％の割合で混合したものをコーティング後，薄く広げて一晩陰干しした種子（以下還元鉄区とする）の計 2 区を作成した．なお, 資材のコーティングはカルパーコーティングマシン（ヤンマー製，YCT15）で行った．2006 年 5 月 17 日に北陸研究センター内の圃場で代かき数時間後にエアーアシスト条播機を用いて各区乾籾 3 kg / 10 a 設定で播種を行い，調査当日まで浅水管理とした．なお，圃場の試験配置は 30 a 圃場内に 1 区当たり 5 a（5×100 m）の試験区を 3 反復で設置し，播種後 21 日目に 60×60 cm の枠内の苗立ち率，転び苗 / 苗立ち比，白化茎長，草丈，葉齢，茎葉部乾物重を 3 反復で調査した．なお，播種後 21 日間の平均気温は 18 . 6℃であった.

試験 II

コシヒカリの催芽種子（各区乾籾 3 kg を種子消毒後, 5℃で 5 日間浸種した後に 50％程度発芽するまで催芽した種子）に鉄資材を乾籾重の等倍量をカルパーコーティングマシン（ヤンマー製, YCT15）でコーティングして試験を行った．還元鉄粉 90％と焼石膏 10％を混合したものをコーティングした後，試験まで 2 日間 5℃の暗所で密封保管した種子（以下還元鉄（密封）区とする），還元鉄粉 90％と焼石膏 10％を混合したものをコーティングした後，2〜3 cm の厚さの網箱で 24 時間酸化処理して翌日まで 5℃の暗所で密封保管した種子（以下還元鉄（酸化）区とする），酸化鉄粉 70％と還元鉄粉 30％を混合したものをコーティング（古畑ら 2007b）した後，試験まで 2 日間 5℃の暗所で密封保管した種子（以下酸化鉄（密封）区とする）の計 3 区を設けた．試験当日各区を室内に設置したホッパーに入れて 12 時間に渡って 30 分おきにホッパー内種子中央部の温度を 3 箇所測定し，2 時間おきに攪拌した後に種子をサンプリングして，各区 3 組ずつ約 100 粒を湿った濾紙を入れたシャーレに取り，20℃・7 日間暗所で発芽させ，発芽調査を行った．なお，本試験ではコーティングした状態で外部から鞘葉抽出が確認された個体を発芽個体としてカウントした.

試験 III

試験 II と同様に還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区，酸化鉄（密封）区を作成した後, 試験まで数日間（2〜3 日）5℃の暗所で密封保管した．それぞれの区の種子を室内（平均気温 16 . 7℃）でバットに厚さ 1 cm，3 cm，5 cm 程度となるように広げた．24 時間に渡って 2 時間おきにバット内に敷き詰めた種子中央部の温度を 2 箇所で測定し，6 時間おきに攪拌した後に種子をサンプリングして，各区約 3 組ずつ 100 粒を湿った濾紙を入れたシャーレに取り，20℃・7 日間暗所で発芽させ，発芽調査を行った．また，対照区として還元鉄（密封）区を密封し続けた区を設けて同様に調査した.

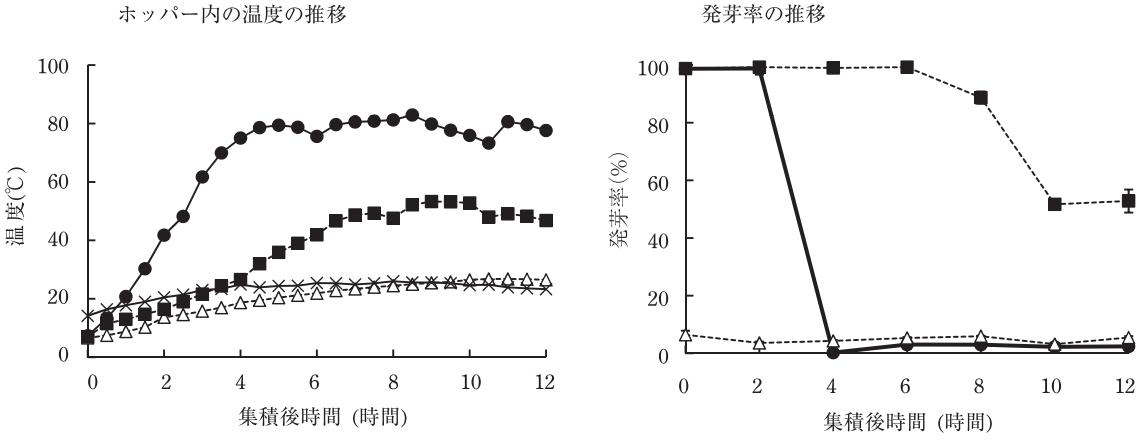
試験 IV

試験 II と同様に還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区，酸化鉄（密封）区を作成した後, 試験まで数日間（3〜4 日）5℃の暗所で密封保管した．2007 年 5 月 1 日に北陸研究センター内の圃場で代かき数時間後にエアーアシスト条播機

第1表　還元鉄の催芽種子へのコーティングが湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響.

コーティングの種類	播種法	苗立ち率	転び苗/苗立ち比	白化茎長	草丈	葉齢	茎葉部乾物重
		(%)	(%)	(cm)	(cm)		(mg/m^2)
催芽	条播	34.4	23.7	0.14	5.9	3.5	128
還元鉄	条播	18.9	33.5	0.11	4.7	3.2	33
t検定		**	ns	ns	ns	**	**

播種後浅水管理とした播種後21日目の平均値（n=3）で示す．播種作業は2006年5月17日にエアーアシスト条播機で行ったが，種子は播種量調整のためホッパー内に数時間入っていた．転び苗 / 苗立ち比＝転び苗数 / 苗立ち個体数 ×100．**：対応のないt検定の結果，催芽区および還元鉄区間に1%水準で有意差があることを示す．ns：有意差なし．



第2図　ホッパー内の温度および発芽率の推移.
●：還元鉄（密封），△：還元鉄（酸化），■：酸化鉄（密封），×：室温．縦棒は標準誤差を示す.

を用いて各区乾籾3 kg / 10 a設定で播種を行い，集積前後でホッパーから種子をサンプリングして，各区3組ずつ約100粒を湿った濾紙を入れたシャーレに取り，20℃・7日間暗所で発芽させ，発芽調査を行った．なお，圃場の試験配置は5 a圃場内に1区当たり160 m^2（2.5×64 m）の試験区を設置し，播種翌日に60×60 cmの枠を約10 mおき5箇所に設置後，播種後10日目まで落水した後に湛水管理とし，播種後28日目に苗立ち率，茎葉部乾物重，白化茎長，草丈，葉齢を調査した．なお，播種後28日間の平均気温は16.8℃であった.

中央農業総合研究センター北陸研究センター（新潟県上越市稲田）内の水田土壌（細粒強グライ土）を風乾砕土後に1/5000 aワグネルポットに充填した．供試した種子は上記圃場試験でホッパーに残ったものを回収し，翌日の播種まで5℃で密封保管した．2007年5月1日に入水したポットで代かきを行い1日間野外に静置し，翌5月2日に表面水を除去した土壌に播種深0.5，1.0，1.5 cmにピンセット播種した（20個体 / ポット）．播種後の水管理は，播種数時間後に駒込ピペットを用いて表面水を除去し，その後は土壌表面からの蒸発のみによる自然減水の落水管理とした．播種後14日間（平均気温16.0℃）にわたって出芽率，第1葉抽出率，苗立ち（第2葉抽出）率を調査して平均出芽日数を算出した．さらに，播種後14日目に未発芽個体を含む全ての種子を回収して草丈，葉齢，茎葉部乾物重を3反復（ポット）で測定した.

結　　果

試験 I

圃場条件において機械播種した還元鉄コーティング種子が出芽・苗立ちに及ぼす影響

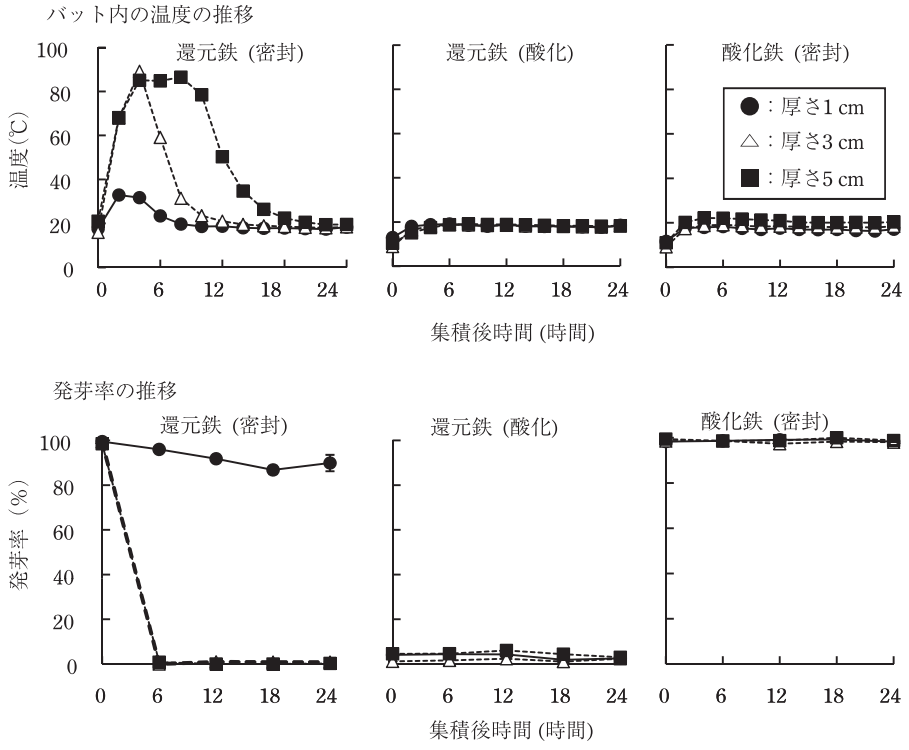
還元鉄区は催芽区に比べて播種深（白化茎長），転び苗 / 苗立ち比，草丈には有意差が見られなかったが，有意に苗立ち率は小さく，葉齢は遅れ，茎葉部乾物重は小さかった（第1表）.

試験 II

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子のホッパー集積時の発熱と発芽率の推移

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子をホッパー内に集積した後の発熱と発芽率の推移を第2図に示した．還元鉄（密封）区は，集積直後から急激に発熱し，集積後2時間では41.8℃，集積後4時間では75℃となり，その後は80℃前後で推移した．また，還元鉄（密封）区の発芽率は集積後2〜4時間にかけて急速に低下して，その後の発芽率はほぼ0%で推移した.

還元鉄（酸化）区は，ほぼ室温と同様に推移して，ホッパー



第3図　バット内の温度および発芽率の推移.
縦棒は標準誤差を示す.

内での発熱は確認できなかった．また，還元鉄（酸化）区の発芽率は集積直後からほぼ0%で推移した.

酸化鉄（密封）区は，集積後時間の経過に伴って緩やかに発熱し，集積後6時間では41.9℃，集積後8時間では47.6℃となり，その後は50℃前後で推移した．また，酸化鉄（密封）区の発芽率は集積後6時間以降に低下し始めた.

試験 III

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子の酸化時の発熱と発芽率の推移

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子をバット内に異なる厚さで集積し，酸化を進めた条件での発熱と発芽率の推移を第3図に示した．還元鉄（密封）区について，厚さ1 cmの温度は，集積後2時間で32.9℃，集積後4時間で31.7℃となり，その後急速に温度が低下した．また，厚さ1 cmの発芽率は，漸減傾向となったが80%以上の発芽率で推移した．厚さ3 cmの温度は，集積後2時間で67.9℃，集積後4時間で89.2℃となり，その後急速に温度が低下した．また，厚さ3 cmの発芽率は，集積後0～6時間にかけて急速に低下して，その後の発芽率はほぼ0%で推移した．厚さ5 cmの温度は，集積後2時間で68.1℃，集積後4時間で85.1℃となり，集積後10時間以降に急速に温度が低下した．また，厚さ5 cmの発芽率は厚さ3 cmと同様に集積後0～6時間にかけて急速に低下して，その後の発芽率はほぼ0%で推移した.

還元鉄（酸化）区は，全ての厚さにおいて発熱が生じなかったが，発芽率は集積直後からほぼ0%で推移した．また，酸化鉄（密封）区は，全ての厚さで発熱が生じず，発芽率は集積直後からほぼ100%で推移した．また，還元鉄(密封)区を密封し続けた条件では，酸化鉄（密封）区と同様に発熱が生じず，発芽率は試験開始からほぼ100%で推移した（データ省略）.

試験 IV

異なる酸化程度とした鉄コーティング種子が出芽・苗立ちに及ぼす影響

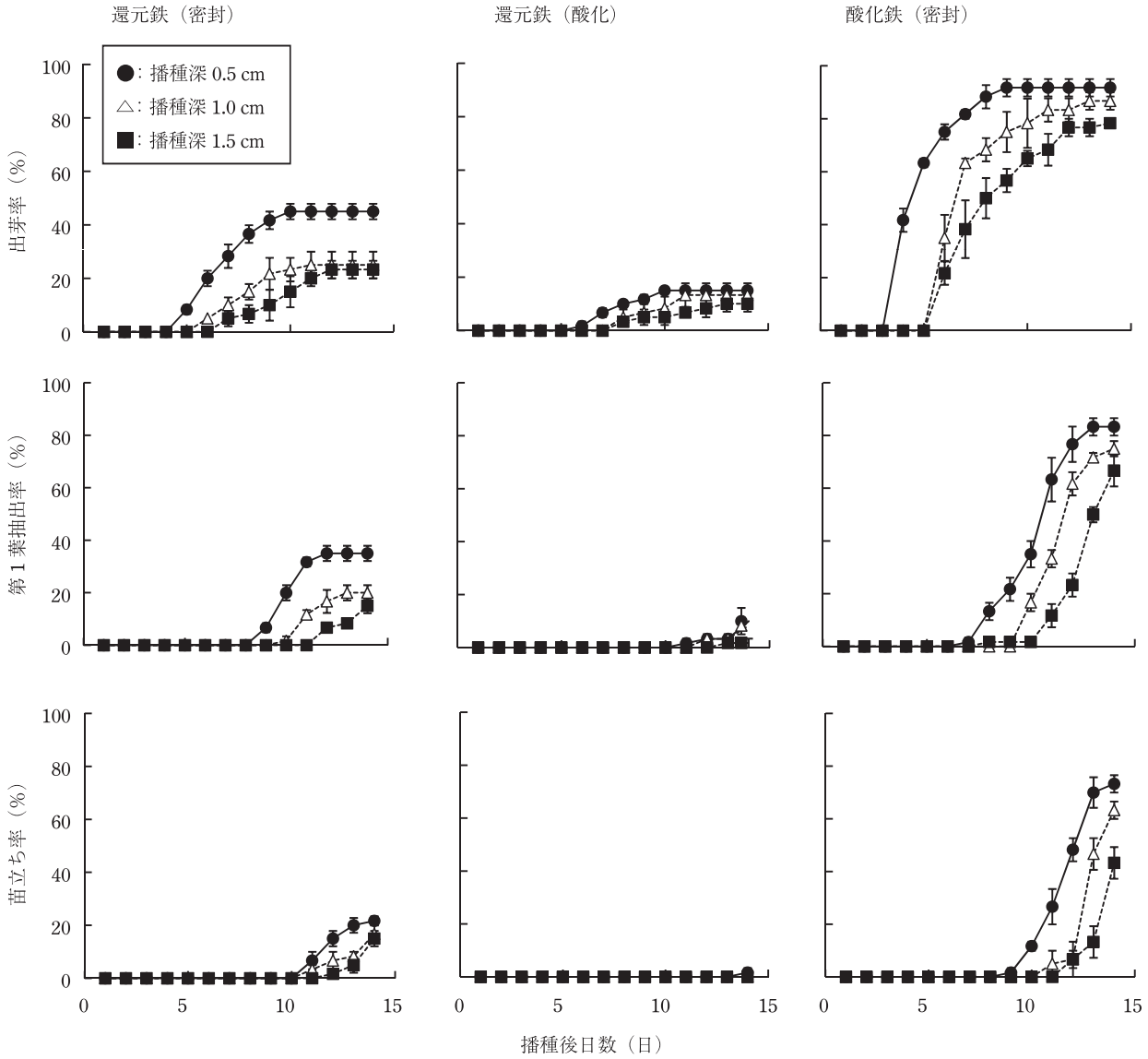
1．圃場試験

圃場条件においてエアーアシスト条播機で播種を行った異なる酸化程度の鉄コーティング種子の出芽・苗立ちを第2表に示した．集積前の発芽率について，還元鉄（密封）区は98.9%，還元鉄（酸化）区は46.5%，酸化鉄（密封）区は99.3%となり，還元鉄（酸化）区のみ集積前の時点で他区の約半分であった．また，集積後の発芽率について，還元鉄（密封）区は49.9%，還元鉄（酸化）区は15.3%，酸化鉄（密封）区は96.1%となり，還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区では集積後に発芽率の低下が認められた．さらに，集積後の発芽率は酸化鉄（密封）区，還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区の順となり，この結果は出芽個体の葉齢および草丈には反映されていなかったが，苗立ち率および茎葉部乾物重には反映されていた.

第 2 表　異なる酸化程度が鉄コーティング種子の出芽・苗立ちに及ぼす影響.

酸化程度	発芽率（%）		苗立ち率	茎葉部乾物重	白化茎長	草丈	葉齢
	集積前	集積後	（%）	（mg/m^2）	（cm）	（cm）	
還元鉄（密封）	98.9	49.9	37.7	594	0.59	11.7	4.0
還元鉄（酸化）	46.5	15.3	7.2	104	−	−	−
酸化鉄（密封）	99.3	96.1	52.0	805	0.72	11.4	3.9

播種後 28 日目の 1 区内 5 箇所の平均値．播種作業は 2007 年 5 月 1 日の代かき作業数時間後に行い，種子は播種量調整のため播種機のホッパー内に 3 時間程度集積されていた．播種後水管理は播種翌日から 9 日間落水後に湛水管理とした（平均気温 16.8℃）．苗立ち率，茎葉部乾物重，白化茎長，草丈，葉齢はいずれも無防鳥条件での値.



第 4 図　異なる酸化程度とした鉄コーティング種子の出芽率，第 1 葉抽出率および苗立ち率の推移.
2007 年 5 月 2 日に播種，播種後 14 日間落水管理とした（平均気温 16.0℃）．縦棒は標準誤差を示す.

2．ポット試験

上記試験後に回収した種子を用いたポット条件の出芽・苗立ちの推移を第 4 図に示した．播種深が深くなるのに伴って，還元鉄（密封）区の出芽，第 1 葉抽出および苗立ちが遅れるだけではなく，最終的な出芽率，第 1 葉抽出率および苗立ち率が低くなる傾向を示し，同様な傾向は還元鉄（酸化）および酸化鉄（密封）区でも認められた.

圃場試験と同様に浅播きであった播種深 0.5 cm について播種後 14 日目の出芽・第 1 葉抽出・苗立ち率，平均出芽日数および初期生育量を第 3 表に示した．浅播き条件と

第3表　異なる酸化程度が鉄コーティング種子の出芽・苗立ちに及ぼす影響.

酸化程度	播種深 (cm)	出芽率 (%)	第1葉抽出率 (%)	苗立ち率 (%)	平均出芽日数 (日)	草丈 (cm)	葉齢	茎葉部乾物重 (mg/ 個体)
還元鉄（密封）	0.5	45.0b	35.0b	21.6b	7.0b	5.0b	1.9b	3.8b
還元鉄（酸化）		15.0c	10.0c	1.7c	8.0c	1.4c	0.6c	1.1b
酸化鉄（密封）		91.7a	83.3a	73.3a	5.1a	10.1a	3.6a	10.7a

試験条件は第4図脚注参照．出芽率，第1葉抽出率，苗立ち率，草丈，葉齢，茎葉部乾物重は播種後14日目の平均値（n=3）で示す．草丈と葉齢は未発芽個体および鞘葉のみ抽出した個体を0として計算した．同一英文字間は，異なるコーティング種子間で5%水準の有意差が無いことを示す（Tukey法）.

なる播種深0.5 cmでは，平均出芽日数は酸化鉄（密封）区，還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区の順に短く，出芽率，第1葉抽出率，苗立ち率は同様の順に高く，初期生育量は同様の順に大きい傾向が認められた．また，同条件の出芽率は前日の機械播種後の発芽率とほぼ同様の数値となった.

考　察

1. コーティング量が鉄コーティング種子の出芽・苗立ちに及ぼす影響

コーティング量が試験Iでは乾籾重の0.3倍，試験II以降では等倍と異なった．試験Iを行うに当たってコーティング量が等倍量だと比重が大きくなり，催芽種子に比べて播種深が著しく深くなることが懸念されたため，コーティング量を減量して0.3倍としたが，その後，コーティング量が等倍であってもエアーアシスト条播機での播種深は数mm程度であり，むしろ代かき作業と播種作業との間隔が播種深に大きく影響することが明らかとなっている（古畑ら2007c）．コーティング資材としての鉄は，過酸化カルシウムに比べて明らかな出芽・苗立ち促進効果はない（古畑ら2009）．このことはコーティング量を減らしても出芽・苗立ちが低下しないことを示唆しており，コーティング量の減量が可能であれば，資材費の削減という点から湛水直播栽培における低コスト化に貢献できる．これに関して，スズメの食害が少ない場合，代かきや水管理を調節すれば0.1倍量でも利用が可能であるとしている（注：山内稔2007. 鉄コーティング湛水直播技術と飼料用稲栽培への適用）．さらにコーティング量を0.1倍重まで減量した場合でも等倍量と同等の出芽・苗立ちが得られることを既に確認しており（データ未発表），コーティング量と出芽・苗立ちの関係の詳細については別途報告する予定である.

2. 集積条件が鉄コーティング種子の発熱と発芽率に及ぼす影響

本試験の結果，催芽種子に異なる鉄資材をコーティング後，ホッパーに集積した条件では，還元鉄（密封）区では集積後短時間で発熱および発芽率の低下が確認され，酸化鉄（密封）区では発熱および発芽率の低下は緩やかに進行した．さらに，種子温度と発芽率の推移から，種子の発熱温度が50℃前後で発芽率の低下が確認された（第2図）．一方，還元鉄（密封）区を密封し続けた場合，常温に長時間おいた条件でも発熱および発芽率の低下は認められなかった（データ省略）．これに関して，浸種籾に還元鉄をコーティングした後にネットに集積した場合，種子温度は56℃まで上昇して発芽率は55%まで低下したが，密封条件では集積しても発熱および発芽率の低下がみられなかったこと（今川2006），酸化鉄をベースとして催芽種子にコーティング後に容器に4 cmの厚さで集積させた場合には発熱は確認されなかったこと（関矢ら2006）が報告されている．ここで発芽率低下をもたらさない目安の温度を40℃とした場合，集積開始から本試験では2時間，今川の報告（2006）では1時間でほぼ到達している．このことから，催芽種子に還元鉄をコーティングした鉄コーティング種子を利用する場合，播種量調整等に時間がかからず，密封した種子をホッパーに入れてから短時間（1時間以内）に播き終える条件では適用が可能であることが示唆された．一方，播種量調整等で播種作業が1時間を超える条件では酸化鉄をベースとした鉄コーティング種子を利用する方が発熱リスクを回避しやすいと考えられた.

3. 酸化条件が鉄コーティング種子の発熱と発芽率に及ぼす影響

本試験の結果，催芽種子に異なる鉄資材をコーティング後，バットに異なる厚さで集積して酸化を進めた条件について，還元鉄（密封）区では厚さ1 cmでは発熱温度は低く，発芽率は80%以上で推移したが，厚さ3 cmおよび5 cmでは集積直後から発熱し，同時に発芽率が急速に低下した（第3図）．催芽種子に還元鉄をベースとしてコーティング後に容器に集積させて酸化を進めた場合，種子水分が高い場合や集積時の厚さが3 cmでは70℃まで表面温度の上昇が確認されたこと（吉住ら2006），2～3 cmの厚さで酸化処理を行った還元鉄（酸化）区では集積開始前から発芽率がほぼ0%であったこと（第2図，第3図）から，催芽種子に還元鉄をコーティング後に酸化を進める場合には，薄く広げて放熱させることで発熱に伴う発芽率低下リスクを回避できることが再確認された．一方，還元鉄（酸化）区の種子をホッパーに数時間集積した条件で発芽率が低下した事例を本試験で確認しており（第2表），催芽種子に還元鉄

をコーティング後に安全に酸化放熱処理を行った種子を利用する場合でも集積時に2次発熱に伴う発芽率低下リスクを抱えていることが確認された．

4．異なる酸化程度の鉄コーティングが出芽・苗立ちに及ぼす影響

圃場およびポット試験の結果，集積後の発芽率は酸化鉄（密封）区，還元鉄（密封）区，還元鉄（酸化）区の順となり，この結果が苗立ち率および茎葉部乾物重には反映されていた（第2表，第3表）．また，ポット試験では鉄コーティング種子の酸化程度にかかわらず播種深が深くなるのに伴って出芽・苗立ちが明らかに遅れて最終的な出芽・苗立ち率は低下し（第4図），初期生育量も低下する（データ省略）傾向が認められた．これに関して，無施肥としたポット試験において，過酸化カルシウムコーティング種子では播種深0.5～1.5 cm間の出芽・苗立ちはほぼ同時期に推移して播種後14日目の初期生育量には差がなかったこと，鉄コーティング種子では播種深1.0 cm以上で出芽・苗立ちが大幅に遅れて播種後14日目の初期生育量は大きく低下したことが確認されており（古畑ら 2009），本試験ではコーティング資材の酸化程度にかかわらず，土中播種された鉄コーティング種子の出芽・苗立ちを明らかに促進する効果は確認できなかった．

試験IVでは，圃場試験およびポット試験ともにほぼ同じ条件の種子が播種された．その結果，ポット試験の播種深0.5 cmの出芽率は圃場試験の集積後の発芽率とほぼ同じ値となり（第2表，第3表），同試験の酸化鉄（密封）区の苗立ち率は還元鉄（密封）区に比べて明らかに高かった（第4図）．一方，圃場試験では，酸化鉄（密封）区の苗立ち率は還元鉄（密封）区に比べて高いが，その差は小さく（第2表），ポット試験と圃場試験で傾向が異なった．これに関して，水田土壌中では2価鉄濃度が高い条件で出芽が抑制されること（山内 2001），土壌中で生成される2価鉄の生成速度は土壌有機物含量，温度によって変化し（浅見 1970a），2価鉄の増加に伴って土壌中のpHは高まり，Ehが低下してアンモニアが増加すること（浅見 1970b），アンモニア態窒素濃度の上昇（古畑ら 2006），Ehの低下（井澤ら 1985）に伴って出芽率が低下することが報告されていることから，土壌条件によって土壌と接するコーティング種子表面では酸化鉄と還元鉄で挙動および生成物は異なった結果，圃場の出芽・苗立ちに影響した可能性が考えられた．このため，土壌中における酸化鉄および還元鉄の詳細な挙動および生成物を今後，調査・検討することによって，表面播種あるいは土中播種のように異なる適用条件ごとの利用が進む可能性が考えられた．

以上のことから，催芽種子に鉄資材をコーティングした種子を利用した湛水直播栽培では，酸化鉄ベースのコーティング種子が還元鉄ベースのコーティング種子に比べて集積条件での発熱リスクを回避し易く，圃場の大規模化あるいは大区画化に対応したエアーアシスト条播機利用体系において出芽・苗立ちを確保しやすいことが示唆された．

謝辞：東北農業研究センター東北飼料稲研究チームの関矢博幸主任研究員には還元鉄の酸化処理について，北陸研究センター田畑輪換研究チームの大野智史主任研究員には土壌中での鉄の動態について適切なご助言を頂いた．また，本研究の遂行にあたって，細川寿北陸水田輪作研究チーム長および大嶺政朗主任研究員（現九州沖縄農業研究センター九州畑輪作研究チーム主任研究員），技術専門職の小竹剛志氏，栗崎利幸氏，浅野修氏，関口誠氏および研究スタッフの杉浦尚美さん，伊倉智子さん，渡辺梅子さんにはご協力頂いた．ここに記して感謝の意を表する次第である．

引 用 文 献

浅見輝男 1970a. 水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究（第1報）．－水田土壌中における遊離鉄の還元と土壌有機物－．土肥誌 41：1－6.

浅見輝男 1970b. 水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究（第2報）．－水田土壌中における遊離鉄の還元とEh, pHの変化およびアンモニアの生成について－．土肥誌 41：1－6.

古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 2006. 湛水土中直播水稲の出芽・苗立ちと出芽速度および種子の代謝産物との関係. 日作紀 75：182－189.

古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2007a. 鉄資材の被覆が湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響．－酸化鉄被覆のための種子予措程度の選定－．北陸作物学会報 43(別)：3.

古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2007b. 鉄資材の被覆が湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響．－酸化鉄被覆のための資材の選定－．北陸作物学会報 43(別)：2.

古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2007c. 高速条播栽培技術の確立に関する研究．－鉄コーティング種子の出芽・苗立ちの向上・安定化－．日作紀 76(別2)：6－7.

古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2009. 鉄資材のコーティングが湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響．－酸素発生資材との比較－．日作紀 78：170－179.

今川彰教 2006. 東北地方における鉄コーティング直播栽培技術の導入. 日作紀 75(別2)：284－285.

井澤敏彦・平岡博幸・西山岩男 1985. 湛水直播水稲の苗立ちにおよぼす土壌還元の影響. 第1報 小麦わらおよび炭水化物添加土壌における酸化還元電位と湛水直播水稲の苗立ちとの関係. 日作紀 54(別1)：24－25.

酒井究・佐藤勉 1998. 水稲湛水直播栽培における除草剤使用適期の推定法. 植調 32：106－109.

関矢博幸・西田瑞彦・加藤直人 2006. 有機物多量施用条件下における飼料用稲鉄コーティング種子の苗立ち. 東北農業研究 59：45－46.

帖佐直・大嶺政朗・古畑昌巳・松村修 2007. 水稲直播の高速条播技術に関する研究（第1報）. 農作業研究 42(別1)：87－88.

帖佐直・古畑昌巳・大嶺政朗2008. 水稲直播の高速条播技術に関する研究（第2報）. 農作業研究 43(別1)：47－48.

山本倫子・菊池晴志 2006. 水稲湛水直播における播種後落水期間中に使用できる初期除草剤の効果. 東北農業研究 59：41－42.

山内稔 2001. 鉄毒性の回避に基づいた水稲の無コーティング湛水直

播. 日作紀 70(別 1) : 10－11.
山内稔 2004. 水稲の鉄コーティング湛水直播. 農及園 80 : 947－953.
吉住佳与・渡邊寛明・山口弘道・木村勝一・河本英憲 2006. 飼料イネ品種「べこあおば」における鉄コーティング種子の放熱経過と発芽に及ぼす活性化処理, 種子内水分及び置床前加温の影響. 東北農業研究 59 : 49－50.

Effects of Seed Coating with Differently Oxidized Iron on Seedling Emergence and Establishment after Direct-seeding under Submerged Conditions : Masami Furuhata[1)], Tadashi Chosa[1)], Osamu Matsumura[1)] and Tomoyuki Yukawa[2)] *([1)]Natl. Agr. Res. Cent., Hokuriku Res. Cent., Joetsu 943-0193, Japan; [2)]Headquarters of NARO)*

Abstract : Heat production and germination of rice seeds kept in a hopper and vat under oxidizing conditions were examined. In addition, seedling emergence and establishment from these seeds directly seeded with an air-assist row seeder were examined in the field. Under the crowded conditions in the hopper, the seeds coated with reduced iron (sealed) were rapidly heated and showed a reduced germination rate. In contrast, the seeds coated with iron oxide (sealed) showed gradual increase in heat production and gradual decrease in germination rate. The germination rate after seeding (after accumulation) was highest in the seeds coated with iron oxide (sealed) following by those coated with reduced iron (sealed), and reduced iron (oxidized without sealing). This order was reflected in the seedling establishment rate and the dry-weight increase of the plants. Our results indicate that the effects of excessive heating may be avoided by using iron oxide-coated seeds, and that machine sowing may be used in a large scale compartmentalization system to promote seedling emergence and establishment.

Key words : Generation of heat, Germination, Iron-coated seed, Oxidation, Rice, Seedling emergence, Seedling establishment, Submerged direct seeding.

書　評

「気象ブックス 024『地球温暖化と農業』」清野 豁 著，成山堂書店，東京，2008 年，150 頁，1800 円（税別）

2007 年に IPCC 第 4 次報告書が発表されて以来，多くの地球温暖化関連書が出版されている．しかし，地球温暖化と農業との関係について，総合的に記述された本はあまり見当たらない．本書は，地球温暖化が農業に及ぼす影響と農業に関する温暖化への適応策についての，農学分野における温暖化影響評価研究の草分け的存在である清野豁氏による好著である．

本書は，6 章からなる．第 1 章は，温暖化のメカニズムについて，気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書を基に解説し，食料生産への影響についての取り組み状況に触れている．温暖化の物理メカニズムや IPCC に関する歴史的経緯がわかりやすく記述されており，授業や講演などで温暖化について語る必要に迫られることがあれば，ぜひ参照されたい．第 2 章では，気温と二酸化炭素濃度の上昇に対する作物の生理について概説し，第 3 章では，温暖化の食料生産への影響評価の方法論が解説される．本章を読めば，温暖化の影響予測研究がどのように行われているかを理解していただけるだろう．第 4 章では，世界の食糧生産への影響が述べられる．特に，FACE 実験の結果について最新の知見が紹介されている点は，見逃せない．第 5 章では，日本の食料生産への影響について，作物別に概観しているが，穀物のみならず，野菜・果樹・牧草など，多種作物について網羅的にまとめられている．温暖化への適応は，一つの作物種のみで考えるのではなく，適地適作の観点から，作物種の再配置を含む大きな視点から考える必要があるだろう．その意味で，温暖化の影響評価・適応研究を考える際に本章は非常に有用である．第 6 章では，温暖化への適応策について触れられ，将来の食料生産を考える際の指針を提供している．

本書は，地球温暖化と農業について，実験・シミュレーションなどの影響評価の方法論，それらによる影響評価，そして適応策という重要な要素がバランスよく配置されている．幅広く充実した内容がコンパクトにまとめられているのは，著者がこの分野の第一人者である証である．地球温暖化が現実のものになるかどうかは別にして，現在すでに高温年では種々の作物で高温障害が報告されており，現時点での高温対策を考えている研究者にも示唆するところが大きいと思う．多くの作物学会会員に読んでいただきたい本である．

（石川県立大学生物資源環境学部　中川博視）