

原発事故被災農地起因の汚染稲わらエネルギー化のための固形燃料化・保管方策の提案

森俊介¹, 古市徹², 石井一英³, 翁御棋⁴, 金相烈⁵

¹非会員 北海道大学 大学院工学院(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: mori@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学教授 大学院工学研究科(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究科(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 北海道大学助教 大学院工学研究科(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: weng@eng.hokudai.ac.jp

⁵非会員 北海道大学助教 大学院工学研究科(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: sykim@eng.hokudai.ac.jp

福島第一原発事故により飛散した放射性セシウムがフォールアウトした稲作地域では、事故以後の作付けによって低濃度汚染稲わらが大量発生し、保管場所の逼迫から農家にとって深刻な問題となりつつある。そこで本研究では、公表統計値から汚染稲わらの発生量および保管量を推定し、クローズドシステム処分場(屋根付き)を用いた汚染稲わらのペレット化・保管方策を具体的解決策として提案した。その効果として、①農家の保管負担軽減、②エネルギー化施設受け入れ開始までの時間的猶予の確保、③放射性セシウムの長期的安全管理、④減容化効果、⑤エネルギー回収効果が得られることを示した。また、今後10年間の保管に必要なCS処分場の容量とペレット生産能力という点から、物理的に本提案が妥当であり、実行可能であることを示した。

Key Words : rice straw, radioactive cesium, solid fuel, storage, unused biomass

1. 研究背景と目的

東日本大震災に伴って発生した福島第一原発事故により飛散した放射性セシウムがフォールアウトした稲作地域では、原発事故以後に作付けされた稲に土壤中の放射性セシウムが吸収されたことによって、低濃度汚染稲わらが大量発生した。

特に、震災以前に飼料や堆肥などに利用されていた稲わらは、国が定めた暫定許容値超過や風評被害のため流通阻害が生じ、やむなく保管されているのが現状であり、今後も毎年発生する稲わらの保管場所の逼迫から、農家にとって深刻な問題となりつつある。また、震災以前に圃場にすき込まれていた稲わらは、震災以後もその大半がすき込まれていると考えられ、圃場における放射性セシウム濃度低下を妨げている。

本研究では、このような原発事故被災農地から発生する稲わらの問題の解決策として、稲わらのエネルギー化のための固形燃料化・保管方策を検討する。固形燃料化によって減容化された稲わらを農地外の別場所で安全に

保管し、放射性セシウムを管理しつつエネルギー化することで、資源を有効活用しながら農家の保管負担を減らすことができる。さらに、未利用バイオマスである稲わらのエネルギー利用は、原発に頼らない分散型エネルギー供給システムの構築に寄与するものである。そこで本研究では、稲わらの保管問題が深刻であると考えられる福島県において、「原発事故由来の放射性セシウムによって汚染された稲わらもしくは今後汚染される疑いのある稲わら」を汚染稲わらと定義し、福島県域から発生する全ての稲わらを解析対象として研究を行うこととした。

また、汚染されていない通常の稲わらに関しては、国内で年間約900万トン発生し、約75%が鋤き込みされており¹⁾、エネルギー資源としての利活用が求められている。特に低コストで燃料を製造可能な固形燃料化によるエネルギー利用が期待されており、全国で最初に稲わらのペレット化によるエネルギー利用事業を実施している北海道南幌町において普及に向けた検討が進められている²⁾が、関連研究は少ない。一方、福島県では農業の再生・復興に向けて、農産物のバイオマス資源としての利活用

を検討する福島県バイオマス活用検討委員会が設置されたが、稲わらの具体的な利活用方策の検討はまだない³⁾。

そこで本研究では、汚染稲わらの保管問題が最も深刻であると考えられる福島県を対象として、

- 1) 汚染稲わらの発生量および保管量を推定し、固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量を推定し、
- 2) 汚染稲わらのエネルギー化のための実行可能な具体的固形燃料化・保管方策を提案し、その効果および実現性を検討することを研究目的とした。

なお本研究は、具体的な地域を絞ったケーススタディを行う前段階の調査であり、技術的実行可能性の点から、本提案の妥当性を示すことを達成目標とする。

2. 汚染稲わらの処理と資源化の現状と課題

(1) 汚染稲わらの処理の現状と課題

国は、放射能濃度が8,000Bq/kgを超える廃棄物については「指定廃棄物」として国が一括して処理にあたり、8,000Bq/kgを下回るものについては「特定一般廃棄物」および「特定産業廃棄物」として、従来の廃棄物処理法に基づき各市町村が処理にあたることを定めた⁴⁾。

汚染稲わらは、事故当時保管されていたため飛散した放射性セシウムが直接沈着して生じた高濃度汚染稲わらと、作付けによって生じた汚染稲わらの二種類に分けられる。高濃度汚染稲わらの処理については、汚染濃度が一部10万Bq/kgを超えるなど、概ね8,000Bq/kgを上回る指定廃棄物が福島県内に約1500t存在し、国は焼却処理を検討中だが、現状では全て隔離保管中である⁵⁾。本研究では高濃度汚染稲わらについては研究対象外とする。

作付けによって生じた汚染稲わらの処理については、汚染濃度が概ね低濃度であることから、圃場から搬出し廃棄物として取り扱う場合には、特定一般廃棄物に該当するものと思われる。汚染稲わらを焼却処理する際には、焼却灰中に放射性セシウムが濃縮するため、焼却灰中放射性セシウム濃度が8,000Bq/kgを超えてしまうと指定廃棄物扱いとなる。なお、圃場から搬出されないものは鋤き込みされていると考えられる。

また現状では、焼却施設および最終処分場付近住民との汚染物受入れについての合意形成が困難であるため、汚染稲わらの処理は停滞している。

(2) 汚染稲わらの資源化の現状と課題

a) マテリアル利用

堆肥化については400Bq/kg、飼料化については牛・馬用が100Bq/kg、豚用が80Bq/kg、鳥用が160Bq/kgとそれぞれ流通に際しての暫定許容値が定められ、モニタリング検査によってこれらの許容値を超過しないものに限

り出荷可能となっている⁶⁾。一部許容値をわずかに上回るものが存在するが、概ね許容値を下回っており出荷可能な状態にあると公表されている⁷⁾。しかし、実際の流通状況については不明であり、報道⁸⁾によれば宮城県では暫定許容値を下回っているにもかかわらず風評被害によって稲わらが出荷困難に陥っているという状況が報じられており、最も放射性セシウムの影響を受けている福島県内においても同様の状況が生じ、大半は各農家で保管しているものと考えられる。

b) エネルギー利用

福島県では原発事故以降、再生可能エネルギーの普及が望まれており、前述したようにバイオマスに関しては福島県バイオマス活用検討委員会が設置され、県内農産物のバイオマス資源のエネルギー利用の可能性について検討が進められている³⁾。しかし、検討は「放射性セシウムによって汚染された食用作物の生産が困難な地域における農地活用」を前提として行われている。稲わらを含む草木系バイオマスについては、ガス化やバイオエタノール化が農地活用の観点から有力であるとして検討が進められており、固形燃料化については農地活用を前提とした取り組みではないとして検討対象から除外されている。

一方、岩手県では放射性セシウムによって汚染された牧草の保管場所逼迫の解消に向けて、ペレット化による減容化・保管方策が現在行われている⁹⁾が、エネルギー化の検討は行われていない。

3. 汚染稲わらの発生量と保管量の推定

(1) 汚染稲わら発生量の推定

原発事故以後の作付けによって生じた稲わらは、全て土壌中の放射性セシウム吸収による汚染の疑いがあると仮定し、平成23・24年度に作付けされ、発生した稲わら（以降、H23・H24年度産と呼ぶ）の発生量および今後発生する汚染稲わらの発生量を推定した。なお今後発生するものについては、H24年度産と同量が継続して発生すると仮定した。また、詳細な地域毎の発生状況や汚染状況を明らかにするために、福島県の旧市町村区分毎に発生量を求めた。推定は、公表統計値のみを用いて以下の手順で行った。

- ① H23・H24年度の旧市町村区分の水稲作付け面積に関するデータはなかったため、現市町村区分毎の水稲作付け面積¹⁰⁾を用いて、(1)式により、H23・H24年度の旧市町村区分毎の水稲作付け面積(ha)を求めた。

「H23・H24年度の旧市町村区分毎の水稲作付け面積 (ha)」
 = 「震災以前の旧市町村区分毎の水稲作付け面積 (ha)
¹¹⁾」 × 「H23・H24年度の現市町村区分毎の水稲作付け
 面積 (ha) ¹⁰⁾」 ÷ 「震災以前の現市町村区分毎の水稲
 作付け面積 (ha) ¹¹⁾」 (1)

- ② ①で求めたH23・H24年度の旧市町村区分毎の水稲
 作付け面積に、精玄米重(5.97t/ha)¹²⁾および米重1tあ
 たりの稲わら発生原単位(1.11)¹²⁾を掛け合わせて、
 H23・H24年度産の旧市町村区分毎の稲わら発生量
 (t) を求める。

推定の結果、福島県の汚染稲わら発生量はH23・24年
 度産の合計で約86万t (H23年度産：約42万t, H24年度産：
 約44万t) , 今後は約44万t/年が発生すると推定された。

図-1に旧市町村区分毎のH23・H24年度産の汚染稲わらの
 発生量をGIS上に整理する。

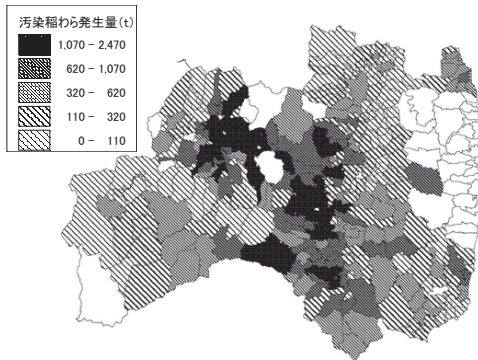


図-1 旧市町村区分毎の汚染稲わら発生量分布

(2) 汚染稲わら保管量の推定

以下の2つの仮定をおいて保管量を推定した。

仮定①：原発事故以前はマテリアル利用（堆肥化・マル
 チ・敷料・飼料・その他）されていた稲わらが、原
 発事故以降、圃場から収集したものの流通阻害によ
 って保管中であり、今後も流通阻害の継続により毎
 年保管され続ける。福島県が整理した資料によると、
 県内全域でのマテリアル利用割合の平均値が約
 20%¹³⁾であったため、20%と仮定した。

仮定②：原発事故以前にすき込みされていた稲わら（同
 様に福島県調査によると約76%¹³⁾）は、原発事故以
 後も収集されずにすき込まれていると仮定し、今回
 の保管量推定には含めない。しかし、後述するよう
 にすき込みされている稲わらは放射性セシウムの除
 去を考慮すると圃場から収集した方がよいので、今
 後は固形燃料化すべきであるとする。

以上の結果、H23・H24年度産合計の汚染稲わら保管量
 は先に求めた発生量に0.2を乗じて約17万7千t、今後は
 毎年約8万9千tが保管され続けると推定された。

(3) 固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量の推定

a) 汚染稲わら中の放射性セシウム濃度の推定

汚染稲わら中の放射性セシウム濃度を、次の手順によ
 って旧市町村区分毎に推定した。但し、農地土壤汚染濃
 度によらず移行係数は変わらないと仮定した。

$$C_{\text{rice}} = K_{\text{soil to rice}} \times C_{\text{soil}} \quad (2)$$

$$C_{\text{straw}} = K_{\text{rice to straw}} \times C_{\text{rice}} \quad (3)$$

ここで、Cは放射性セシウム濃度 (Bg/kg) であり、下
 付文字のriceは玄米、strawは稲わら、soilは土壌を表す。
 また、Kは移行係数（端的にいうと平衡状態を仮定した
 分配係数）であり、下付け文字のsoil to riceは土壌と玄米、
 rice to strawは玄米と稲わらを表す。なお、 $K_{\text{soil to rice}}$ は
 (0.0005-0.02 平均：0.005)¹⁴⁾、 $K_{\text{rice to straw}}$ は2.32¹⁵⁾を用
 いた。

また、移行係数は土壌の種類によって数値が大きく異
 なると考えられるため、本研究では汚染稲わらの最大放
 射性セシウム濃度を推定するために $K_{\text{soil to rice}}$ は、最大値
 である0.02を推定に用いた。また、各旧市町村毎の農地
 汚染土壌濃度については、H23年度時点の公表値（検出
 無し～7,610Bg/kg）を用いた。その結果、汚染稲わらの
 放射性セシウム濃度は検出無し～360Bq/kgと推定された。
 その濃度分布について、図-2に示す。

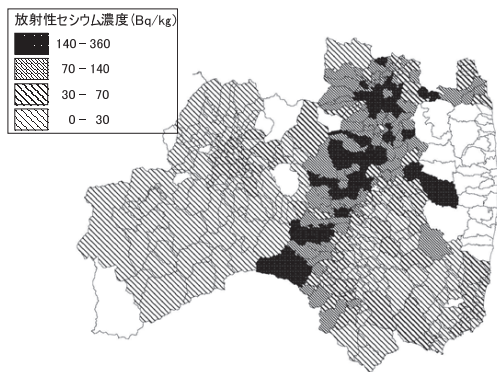


図-2 汚染稲わら中の放射性セシウム濃度分布

b) 固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量の推定

流通阻害が発生する目安を想定することで、固形燃料
 化対象となり得る汚染稲わら量を推定した。図-3に各濃
 度レベル毎のH23・H24年度産汚染稲わら保管量を示した。
 まず、図-3中①に示すように汚染稲わらの流通阻害が発
 生する目安として、稲わらの牛・馬用飼料利用の暫定許
 容値である100Bq/kgを想定し、これを超えるものは流通
 阻害によって保管せざるを得ないため、固形燃料化対象
 となり得るとした。その結果、現在保管中のH23・H24
 年度産の汚染稲わらでは約4万2千tが、今後は約2万1千t

年が固形燃料化対象となり得ると推定された。同様に、図-3中②に示すように豚用飼料利用の暫定許容値である80Bq/kgを想定した場合には、H23・H24年度産の汚染稲わらでは約5万4千tが、今後は約2万7千t/年が固形燃料化対象となり得ると推定された。また、汚染濃度の最大値である360Bq/kgでは、後述するように燃焼後の焼却灰濃度が8,000Bq/kgを超えないと推測されるため、汚染稲わらは全量固形燃料化後に燃焼可能だと考えられる。

これまで求めてきた汚染稲わらの発生量、保管量、および固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量を図-4にまとめた。図-4中の α と示したように、現在は震災以前と同様にすき込まれていると考えられる汚染稲わらについても、特に汚染濃度の比較的高いものについては圃場から搬出し固形燃料化すべきであるとして、固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量に加えた（本研究では推定は行っておらず、今後の具体的なケーススタディ時の課題となる）。

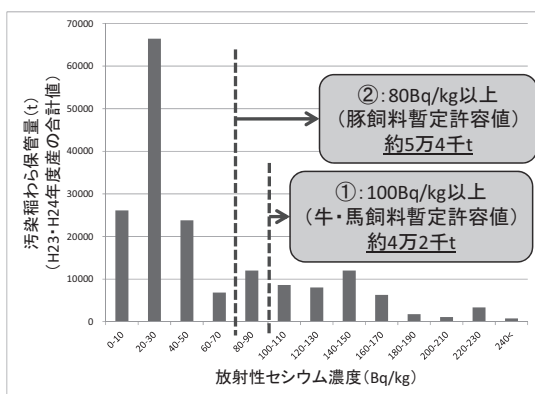


図-3 各濃度レベル毎の汚染稲わら保管量

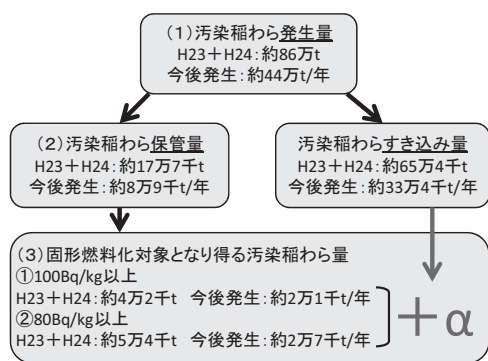


図-4 汚染稲わらの発生量・保管量・固形燃料化となり得る量の関係

4. 汚染稲わらの固形燃料化・保管方法とエネルギー化方法の選択

(1) 汚染稲わら固形燃料化方法の検討

現在考え得る汚染稲わらの固形燃料化方法として稲わらカット・稲わらブリケット・稲わらペレットの3つが挙げられる²⁾。表-1に各固形燃料化方法の特徴をまとめた。稲わらカットは製造にかかる作業が稲わらの裁断のみであるため製造コストを低く抑えることができるが、嵩密度が小さいため広大な保管スペースを必要とする。また乾燥工程を経ずに製造されたものは水分の働きにより腐食の進行が速いため長期保管に不向きである。

稲わらブリケットおよび稲わらペレットについては、共に高エネルギー密度化が期待でき、さらに圧縮による高い減容化効果が期待できる。特に稲わらペレットについては最も嵩密度が大きく、汚染稲わらの減容化方法として適していると考えられる。また、実用化レベルにおいても、稲わらブリケットが実証段階にあるのに対して稲わらペレットは北海道南幌町において全国で唯一の温泉での熱利用事業が現在行われており、実用化に際しての有用な知見が蓄積されは始めている。

以上の考察から、本研究では稲わらペレットを固形燃料化方法として考えることとする。

表-1 汚染稲わらの固形燃料化方法

固形燃料形態	形状	嵩密度	エネルギー密度	製造コスト	保管スペース	実用化レベル
稲わらカット	10～15cm	小	低	低	高	実証
稲わらブリケット	ペレットより大	中	高	中	中	実証
稲わらペレット	Φ6～7×20mm前後	大	高	高	低	実用化

(1) 汚染稲わら保管方法の検討

放射性セシウム汚染物である汚染稲わらの保管場所に求められる機能としては、周辺環境影響や保管施設付近住民合意等の観点から室内空間であることが望ましく、また、固形燃料の長期保管のために雨水等の水分との接触が極力避けられる構造であるべきである。さらに、想定外に保管期間が長引いた場合にも対応可能である施設が望ましい。このような考慮事項を満足する保管施設として屋根のあるクローズドシステム処分場（以下：CS処分場）（図-5）を挙げることができる¹⁶⁾。

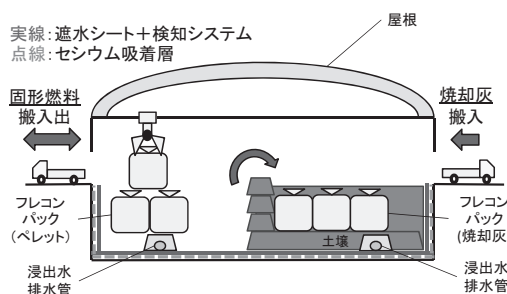


図-5 CS処分場を用いた汚染稲わら保管方法

CS処分場内で汚染稲わら固形燃料をフレコンバックにて保管することにより、水分との接触を最大限避けながら保管可能であり、粉じんの外部への飛散も最小限に抑えることができると考えられる。また、クローズドであることから外界との境界が明確であるため、オープン型の保管施設と比較して正確なモニタリング検査が実施可能であり、施設付近住民との合意形成に寄与し得ると考えられる。さらに、固形燃料の燃焼によって生じる焼却灰を、同処分場内へ国が定めたガイドライン⁴⁾に従う形でフレコンバックにて埋立処分できるため、固形燃料と焼却灰の同施設内での一元管理が可能となり放射性セシウムの安全な長期管理が達成される。

保管場所としてCS処分場を導入する際の課題としては、施設内作業員の安全性確保が挙げられる。これに対する解決策として、現在焼却飛灰の熔融固化物を扱うCS処分場で用いられている、クレーン利用による施設内作業の無人化¹⁷⁾が考えられる。また、固形燃料の長期保管のために施設内部の温湿度管理が重要であり、粉じん飛散防止が徹底された形での換気が課題である。

(3) 固形燃料化後のエネルギー化方法の分類と課題

現在考え得る汚染稲わらのエネルギー化方法として固形燃料化後の熱利用・バイオエタノール化・ガス化（発電・熱利用）・稲わらメタン発酵の4つが挙げられる。各エネルギー化方法について実用化レベルと放射性セシウム対策という2点から考察する。

a) 熱利用

稲わらを破碎し圧縮成形した後に燃焼することで熱利用する。実用化レベルの観点からは、特に稲わらペレットに関しては前述したように、北海道南幌町にて熱利用事業が行われていることから、現時点で実用化可能であると判断できる。

放射性セシウム対策の観点からは、燃焼後の焼却残渣中への放射性セシウムの濃縮が課題である。放射性セシウムは焼却施設での燃焼時に、主に排ガス中に気体の状態で存在し、排ガス処理設備において冷却されることで固体状態で飛灰に濃縮する形で捕捉される（図-6）。主

灰中の放射性セシウムは水に溶けにくい性質なのに対し、飛灰中の放射性セシウムは水に溶けやすい性質を示すことから、飛灰埋立の際に水との接触を避ける工夫が必要となる¹²⁾。稲わらは燃焼後に主灰となる灰分（シリカ）を大量に含んでいるため、都市ごみと比較して放射性セシウムは主灰中に濃縮する傾向があることが確認されており、飛灰中への濃縮は小さくなくと考えられる¹⁸⁾。この稲わらの燃焼時の放射性セシウムの濃縮特性と、都市ごみ・専焼の場合の飛灰濃度が8,000Bq/kgを超えない投入物濃度の目安が240～480Bq/kgであること¹⁸⁾とを考慮すると、前章で推定された汚染稲わらの最大放射性セシウム濃度:360Bq/kgであれば熱利用可能であるといえる。また、排ガス中の放射性セシウムはバグフィルターや電気集塵機といった高性能排ガス処理設備によって捕捉されるため、燃焼はこれらの設備を備えた既設のボイラー施設や熱回収可能な焼却施設で行われるべきである。

これらの熱利用方法は、技術的には実行可能であるといえるが、社会的には関連施設付近住民の汚染物受入れ反対により、早急な実行は困難である。すなわち受け入れ先の関連施設付近住民との合意形成が得られるまでの時間的猶予を確保する必要がある。

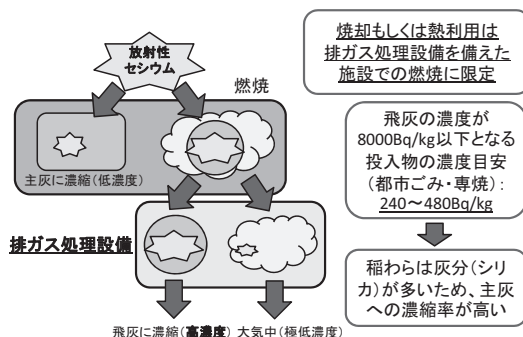


図-6 焼却施設内での放射性セシウムの挙動（参考文献15を基に作成）

b) バイオエタノール化³⁾

稲わらの生物化学的変換によるエネルギー化方法であり、糖質の発酵によってエタノールを製造し、主にガソリンの代替燃料として利用する。実用化レベルの観点からは、投入量の確保やコストが課題ではあるものの現在全国的に実証事業が活発に行われていることから実用化レベルにあるといえる。放射性セシウム対策の観点からは、エタノール製造に伴って生じる発酵残渣や茎等の未利用残渣の処理が課題である。これらの残渣は焼却処理されるため、焼却後の飛灰濃度が8,000Bq/kgを超えないような焼却施設における投入物管理が重要である。

c) ガス化（発電・熱利用）³⁾

稲わらの熱化学的変換によるエネルギー化方法であり、

稲わらを高温（650℃～1100℃）でガス化し、熱・ガス・電気に利用する。実用化レベルの観点からは、現在は実証段階の技術であり5～10年後の実用化が望まれている。放射性セシウム対策の観点からは、チャー（灰）やタールへの高濃度濃縮が課題となると考えられるが、具体的な知見は現状では不足しているため実証試験による知見の集積が必要である。

d) 稲わらメタン発酵（湿式・乾式）³⁾

稲わらの生物化学的変換によるエネルギー化方法であり、稲わらを微生物による嫌気性発酵によりメタンガスを発生させ、燃料として利用する。実用化レベルの観点からは、稲わら単独でのメタン発酵は困難であり、他の生ごみや下水汚泥等との混合発酵によるInputの確保が課題である。放射性セシウム対策の観点からは、メタン発酵に伴って発生する含水率の高い発酵残渣および消化液の処理が課題である。

(4) 本研究で対象とする汚染稲わらエネルギー化方法

現在既に技術的には実用化可能レベルに達しており、放射性セシウム対策についても投入物の濃度管理が徹底されれば安全性を確保できると考えられるため、熱利用およびバイオエタノール化を本研究では汚染稲わらのエネルギー化方法として選択する。

5. 汚染稲わらの固形燃料化・保管方策の提案

(1) 汚染稲わらのペレット化・保管方策の提案

前章の考察に基づき、原発事故被災農地から発生する汚染稲わらのエネルギー化のためのペレット化・保管方策を提案する（図-7）。

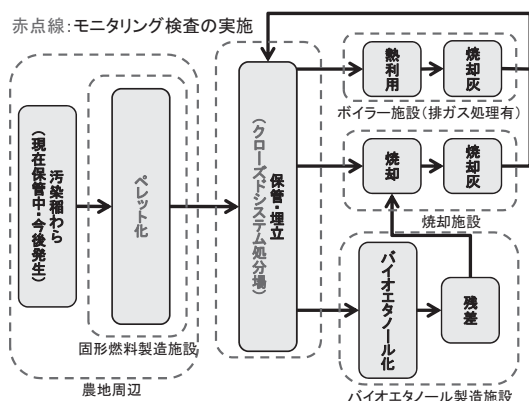


図-7 汚染稲わらペレット化・保管方策

作付けによって生じる汚染稲わらを、農地周辺もしくはCS処分場付近でペレット化しフレコンバックに詰め

た後にCS処分場内に保管する。CS処分場内の作業はクレーン技術の導入により無人化にて行う。施設付近住民との合意形成等の受け入れ先の状況に応じて、保管されているペレットを排ガス処理設備を備えたボイラー施設、熱回収設備を備えた焼却施設、およびバイオエタノール製造施設へと運搬し、熱利用およびバイオエタノール化によってエネルギー化する。バイオエタノール製造時に生じる残渣は焼却処理する。ボイラー施設および焼却施設から発生する焼却灰（主灰・飛灰）はフレコンバックに詰めた後に、再びCS処分場に埋立処分する（図-5参照）。図-7 中点線はモニタリング検査の実施を表す。汚染物取扱い施設の周辺環境および汚染物の搬入出時にモニタリング検査を実施する。

(2) 汚染稲わらペレット化・保管方策の効果

提案した汚染稲わらペレット化・保管方策によって得られる効果について考察する。

a) 農家の保管負担軽減

圧縮減容化による保管スペースの減少とCS処分場内での保管場所確保によって汚染稲わらの搬出先が確保されることで迅速に汚染稲わらが農地から移動され、農家の保管負担を大幅に緩和できる。

b) エネルギー化施設受け入れ開始までの時間的猶予の獲得

乾燥ペレットの製造とCS処分場導入によるペレットと水との接触回避によってペレットの長期保管が可能となり、エネルギー化施設における住民合意等の受け入れ準備が整うまでの時間的猶予を確保することができる。

c) 放射性セシウムの長期的安全管理

汚染物取扱い施設における周辺環境および汚染物搬入出時のモニタリング検査の徹底と、CS処分場内でのペレットと焼却灰の一元管理により、トータルシステムとして放射性セシウム管理が可能となり、汚染物の長期的な安全管理が可能となる。

d) 減容化効果

稲わらペレット化事業の先進地域である北海道南幌町での実証実験によって得られた知見²⁾から、元の稲わらロール容積と比較して、ペレット化によって約五分の一、さらに焼却によって約十分の一まで汚染稲わらを減容化させることができる。

e) エネルギー回収効果

熱から電力への変換効率を30%として計算すれば、①汚染濃度が100Bq/kg以上の汚染稲わらが固形燃料化対象になるとすると、現在保管中のH23・H24年度産の汚染稲わらのエネルギー化によって約5万5千MWh、今後発生する汚染稲わらのエネルギー化によって約2万7千MWh/年と、それに加えてすき込みされているものを圃場から搬出すれば更なるエネルギー回収効果が得られ

る。②汚染濃度が 80Bq/kg 以上が固形燃料化対象となり得るとすると、同様に H23・H24 年度産の現在保管中の汚染稲わらのエネルギー化によって約 7 万 1 千 MWh、今後発生する汚染稲わらのエネルギー化によって約 3 万 5 千 MWh/年+αのエネルギー化効果が得られる。

(3) 汚染稲わらペレット化・保管方策の実現性に関する考察

a) CS 処分場必要容量

放射性セシウム濃度 80Bq/kg 以上が固形燃料化対象となり得るとした時の、H23・H24 年度産の約 5 万 4 千 t と今後発生する約 2 万 7 千 t/年の汚染稲わらの今後 10 年間の保管に必要な CS 処分場容量を、稲わらペレット嵩密度を 0.65t/m^3 、稲わらをペレット化した際の歩留まり率を 0.8²⁾として、以下の式 (4) によって推定した。

$$(\text{「H23・H24 年度産 (t)」} + \text{「今後発生 (t)」} \times 10) \div \text{稲わらペレット嵩密度 (0.65t/m}^3\text{)} \times \text{歩留まり率 (0.8)} \quad (4)$$

その結果、今後 10 年間の汚染稲わらの保管に必要な CS 処分場容量は約 40 万 m^3 と推定された。図-8 に示した H24 年度産の放射性セシウム濃度 80Bq/kg 以上の汚染稲わらの現市町村区分毎の発生量分布から、中通の北部に 10 万 m^3 規模、発生量の多い中部から南部に 30 万 m^3 規模の CS 処分場を建設すれば、今後 10 年間の保管量を賄うことができると考えられる。

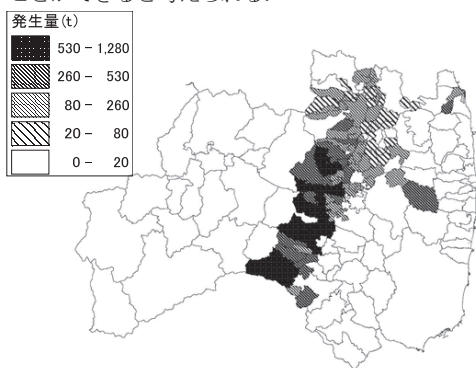


図-8 放射性セシウム濃度 80Bq/kg 以上の汚染稲わらの発生量分布

b) ペレット生産能力

前項と同様に、放射性セシウム濃度 80Bq/kg 以上の稲わらが固形燃料化対象となり得るとした時の、汚染稲わらのペレット化に必要なペレタイザー台数を推定した。稲わらペレット化実績のあるペレタイザー（生産能力：0.6t/h）²⁾を、1 日 8 時間で年間 300 日稼働させることとすると、1 年間のペレタイザー 1 台の生産能力は 1440t/年となり、現在保管中の H23・H24 年度産の約 5 万 4

千 t を今後 2 年間、毎年発生する約 2 万 7 千 t/年と合わせてペレット化すると仮定すると、今後 2 年間は年間 38 台、その後は年間 18 台のペレタイザーが汚染稲わらのペレット化に必要であると推定された。ペレタイザーは農地周辺または CS 処分場付近に設置する。なお、農地周辺からペレットを運搬する際は、同時にペレット化に伴って生じる残渣も運搬する必要がある。

(4) 汚染稲わらのペレット化・保管方策実現のための今後の課題

a) 事業主体と費用負担

事業主体及び事業の費用負担が課題である。40 m^3 分の CS 処分場建設費約 40 億円¹⁶⁾¹⁷⁾や 38 台のペレタイザー購入費約 80 億円²⁾などの設備投資にかかる費用については、原発事故の責任主体である国および東電などからの補助の検討が必要である。事業主体については、官民連携のもと事業を立ち上げ、将来的に事業継続が可能な形での事業運営が望ましい。

b) エネルギー利用施設の確保

既設のボイラー施設や焼却施設などでのエネルギー利用を第一に検討していくべきであるが、住民合意が得られないなどの理由によって受け入れが困難な場合や、受け入れ能力不足の場合もあり得ることから、エネルギー利用施設の新設を検討する必要がある。

c) 住民合意と立地選定

関連施設付近住民との合意形成が課題である。特に CS 処分場の建設・汚染物受け入れに関する合意形成は早急に達成し、立地選定を急がなければならない。また、既設・新設を問わず、エネルギー利用施設付近住民との汚染物受け入れに関する合意形成も同時に進めていく必要がある。

6. 結論

- 1) 福島県の汚染稲わらの発生量および保管量を推定し、固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量を推定した。その結果、放射性セシウム濃度が 100Bq/kg 以上の稲わらが固形燃料化対象となり得るとした時には、H23・H24 年度産で約 4 万 2 千 t、今後発生するもので約 2 万 1 千 t/年が、80Bq/kg 以上とした時には、H23・H24 年度産で約 5 万 4 千 t、今後発生するもので約 2 万 7 千 t/年が固形燃料化対象となり得る汚染稲わら量として推定された。
- 2) ペレット化によって減容化した後に CS 処分場内にて保管し、需要先の状況に応じて熱利用もしくはバイオエタノール化するという汚染稲わらエネルギー化のためのペレット化・保管方策を提案した。

- 3) 提案した汚染稲わらのペレット化・保管方策の効果として、①農家の保管負担軽減②エネルギー施設受け入れ開始までの時間的猶予の確保③放射性セシウムの長期的安全管理④減容化効果⑤エネルギー回収効果が得られることを示した。また、今後10年間の保管に必要なCS処分場の容量とペレット生産能力という点から、物理的に本提案が妥当であり、実行可能であることを示した。

謝辞: ヒアリングにご協力いただいた岩手県庁、宮城県庁、福島県庁、茨城県庁の皆様へ感謝の意を表する。なお、本研究の一部は、環境研究総合推進費補助金「バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究」により実施した。

参考文献

- 1) 農林水産省：国産稲わらの利用の促進について，2008。
http://www.maff.go.jp/chikusan/souti/lin/l_siryokou/h200901/pdf/data04.pdf
- 2) 北海道南幌町：南幌町稲わら・もみ殻・麦わらの有効利用の具体化検討調査，2009。
- 3) 福島県：福島県バイオマス活用検討委員会，2012
http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=32149
- 4) 環境省：廃棄物関係ガイドライン，2011。
http://www.env.go.jp/jishin/attach/haikihyouka_kentakai/11-mat_2.pdf
- 5) 河北新報社：焦点／汚染稲わら行き場なし／一時保管先定まらず 2011.11。
http://www.kahoku.co.jp/spe/spe_sys1071/20111121_01.htm
- 6) 農林水産省：24年産稲の作付制限及び事前出荷制限の指示について，2012。
<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kokumotu/120405.html>
- 7) 福島県：平成24年産稲から生じる副産物等の利用判断表，2012。
http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyu/06ganba_joho/33-hyo.pdf
- 8) 日本農業新聞 e 農 net：「現場から」稲わら供給地・宮城県風評害で取引激減 保管場所もう限界 2011.01.27。
http://www.agrinews.co.jp/modules/pico/index.php?content_id=18882
- 9) 岩手日日新聞：汚染牧草 半数以上ペレット化～一関市 2013.2。
http://www.iwanichi.co.jp/ichinoseki/item_33123.html
- 10) 農林水産省，東北農政局，福島地域センター：平成24(23)年産水稻市町村別収穫量（福島），2012（2011）
http://www.maff.go.jp/tohoku/stinfo/toukei/kekka24/pdf/121220_hu.pdf
- 11) 農林水産省：2010 世界農林業センサス 第1巻都道府県別統計書 福島県，2010。
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001036095&cycode=0>
- 12) 農林水産省：バイオマス構想策定マニュアル 第3部資料編，2008。
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_town/manual/pdf/3.pdf
- 13) 福島県：農林業有機性資源循環利用促進事業調査報告書 2010.3。
- 14) 福島県：水稻の移行係数
<http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyu/08%20jyosennsisinn/ineikou.pdf>
- 15) 福島県：農地を活用したバイオマスのエネルギー利用の可能性について～県農業総合センターにおける放射性物質吸収に関する研究結果②～，2012。
<http://www.cms.pref.fukushima.jp/download/1/241116baio-si4.pdf>
- 16) NPO 最終処分場技術システム研究協会：クローズドシステム処分場技術ハンドブック，2012。
- 17) クローズドシステム処分場開発研究会：絵で見るクローズドシステム処分場，2006。
- 18) 国立環境研究所：放射性物質を含む廃棄物の適正な処理処分（技術資料：概要版），2011。
http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_publicver_120725ss.pdf

(2013. 7. 19 受付)

PROPOSAL OF PRODUCTION AND STORAGE METHODS FOR SOLID FUELS MADE FROM RICE STRAW CONTAMINATED WITH RADIOACTIVE CESIUM CAUSED BY THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Shunsuke MORI, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII, Yu-Chi WENG and SangYul KIM

Huge amount of rice straws contaminated with radioactive cesium was generated in rice-producing regions contaminated by radioactive cesium caused by the Fukushima nuclear power plant accident. This problem on contaminated rice straw is becoming severe for farmers because of lack of storage space. Therefore, this study estimated the generation and storage amounts of contaminated rice straws using official statistics, and proposed a concrete solution, namely a production and storage method for solid fuels made from rice straw for energy utilization by use of a closed-system final disposal facility. We analyzed effectiveness of our proposal as follows: 1) reduction of burden for farmers in storage of a large amount of contaminated rice straw, 2) security of an extension of time until energy plants are acceptable to receive the contaminated rice straw pellets for neighboring residents, 3) a long-term safety management of radioactive cesium, 4) volume reduction, and 5) energy recovery. Feasibility of our proposal was discussed in terms of the capacity required for ten years storage of contaminated rice straw pellets at closed system final disposal facilities and the production capacity of rice straw pellets.