

論文の内容の要旨

論文題目

Thermal Risk of Biomass Fuels and Related Materials

(バイオマス燃料等の熱危険性評価)

氏名

李 新蕊

地球環境に配慮して廃棄物などを再利用する取り組みが進められ、バイオマス燃料をはじめとする多くの再生資源燃料が誕生しています。しかし、これらのなかには、大量貯蔵時に堆積物の内部からの蓄熱発火するなど、危険性がよくわからないものも多くあります。例えば、2003年8月の三重県でのごみ固体燃料（RDF）発電所の火災爆発事故は、バイオマス燃料開発と同時に安全性に対する認識と対策が嚴重に不足ように思われる。なお、大量不法投棄の木材チップの自然発火など事例も多い。本研究は、再生資源燃料の危険性の評価を行うなど、「安全なバイオマス燃料」の実現に向けた研究も行っています。

まず、生ごみの減量化のために同様な生ごみ処理機が稼働していることから、出火原因について知見を得ることは火災予防の点で重要である。平成15年11月、神奈川県大和市にある大規模ショッピングセンターの生ごみ処理室で火災が発生した。生ごみ処理槽において底部のパイプから熱風を出して、生ごみの水分を蒸発させて生ごみの減量化を図っていた。生ごみ処理槽内に生ごみの他に処理底部に杉チップが敷き詰められていた。4章において、火災爆発の出火原因を解明するために、TG-DTA（示差熱分析-熱重量分析）によって生ごみ試料および生ごみ試料に油を添加した試料の分解開始温度等の発熱挙動を調べた。また、燃焼実験において、およそ90kgの生ごみ試料を用いて火災の可能性を検証した。また、燃焼実験において燃焼に伴い発生するガスの定性・定量分析を行った。発酵槽底層部は、攪拌装置による熱の拡散がなくなると同時に、高温空気による加熱が継続される状態になった。放熱よりも蓄熱が上回ることにより温度が上昇し、その結果、底層部、とくにエアノズル先端付近にある杉チップや処理物の熱分解が急激に進行し、くん焼状態となり白煙が部屋に充満した。くん焼状態から有炎燃焼に移行し、充満したガスに着火して爆発したと考えられる。

表1 生ごみ処理の検証実験結果

乾燥処理	含油率(%)	発煙時間 (時間:分)	発生ガス
自然乾燥	14.1	4:50	H ₂ , CO, Methane, CO ₂ , Ethane Acetaldehyde, acetone, acetic acid

(*事故機の発酵槽に対し、水平投影面積比 50:1 のステンレス製の実験装置を製作した。高温空気は、ヒータで150°C に昇温し、4本のエアノズルから底層部に吹き込んだ。)

つぎは、大量に堆積したバイオマス燃料の自然発火に起因する火災、爆発が目立って起きているように思われる。バイオマス燃料は、複数の可燃物の混合物であり、また、組成が一定でな

いたため再現実験が難しく、事故の原因究明は、極めて難しい場合が多々ある。特に、RDF や木材チップといった生物による発酵現象が絡む可能性がある場合、原因究明はより難しくなります。一般的に消防法上、指定可燃物に該当する可能性のある物質等は国連勧告書では、廃棄物自然発火性物質として輸送上の規制に係る場合があることから、各種バイオマス燃料（生物起源燃料）等の熱的危険性評価方法と危険性評価結果を検討した。火災の発生では、必ず熱の発生があります。特に初期段階での非常に微少な熱の発生とその蓄積は、火災原因と直接結び付くため極めて重要で、これを捉える必要があります。そのため、本研の手法として、以下の手順で行った。まず、高感度の熱分析計、熱量計を使って、微小の発熱を検知し、結果をもとに蓄熱発火を推定した。つぎに断熱性の高い条件で、ある程度の量の試料を使って、微小反応による温度上昇の状況を調べた。少量の試料で安全に測定できる高感度の熱分析機器は、バイオマス燃料、リサイクル燃料及び廃棄物等の危険性評価に適用が可能です。出火メカニズムと出火温度を追及する一つの手段として、熱分析 (TG-DTA)、SIT(自然発火試験)、高感度熱量計などの熱測定を試みた。最後は RDF の爆発事故等を考えれば、サイロ等での貯蔵時の危険性を知る上で可燃性ガス等(水素、メタン、一酸化炭素等) の発生の分析、確認は重要である。燃料 50 g を 1000mL ガラス瓶中に①受領のまま、および②更に水 12.5 g を加え、それぞれを 26°C と 60°C での環境下に 10~11 日間密栓保持した。発生ガスの分析はガスクロマトグラフによった。ここでは、このような蓄熱発火に伴う火災、事故を防止するために、広く流通する前の段階で、危険性評価を行った。試料は表 2 に示す提供されたそのまま、及び水 20 (重量%) 添加して以下の項目に注目して、その危険性を明らかにする。

表 2 バイオマス燃料一覧

バイオマス燃料名	原料	用途例
木質ペレット、木材チップ	木材	暖房用ボイラーの燃料
汚泥燃料	下水処理時に発生する汚泥パルプ汚泥	石炭火力発電所の燃料
RDF (ごみ固化燃料)	プラスチック、家庭ごみ	RDF 発電設備の燃料
RPF	プラスチック、紙、産業廃棄物	RPF 発電設備の燃料
c-RPF	RDF/RPF ブレンド	RPF 発電設備の燃料
鶏糞	養鶏場から発生する鶏糞	発電設備の燃料

(1) 発熱開始温度

発熱開始温度は、測定方法によって大きく異なる。昇温速度を落として、感度の高い C80 によって得られた値や TAM による等温実験がより現実的なものに近いと考えられる。C80 の結果から汚泥燃料、鶏糞は 30°C 以下でも発熱することが判る。TAM の実験からいずれの物質も 50°C である程度の発熱があることが判るが、このような低温での発熱が、直ちに火災に至る引き金になるかどうかは判らない。SIT によってある程度判るが、同結果では、木質ペレット (バーク) が最も低い温度から発熱を始めた。この結果、高感度熱量計からは 45°C~60°C に発熱反応を確認し、SIT の結果と併せて、この発熱が火災に至る可能性を有することを確認した。

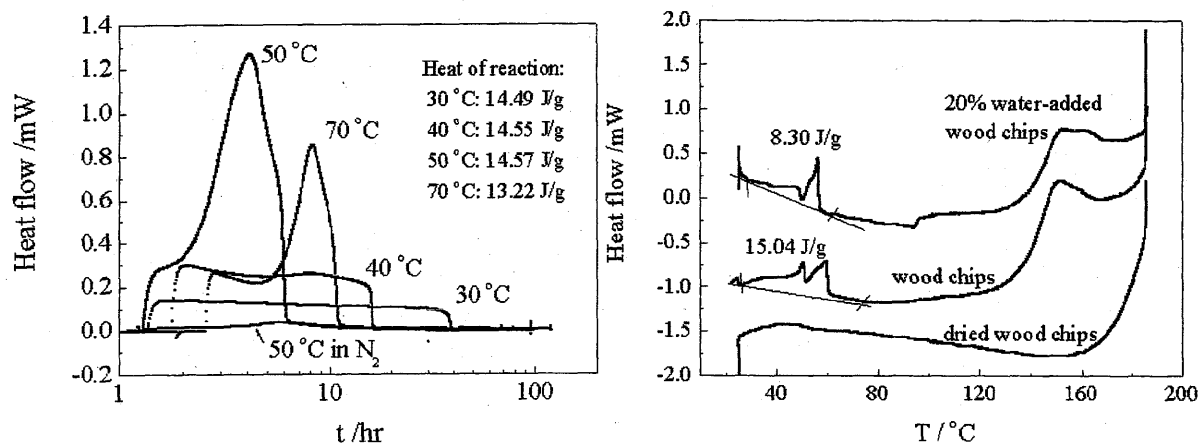


Fig. 1 木材チップの発熱速度 (TAM と MS 80)

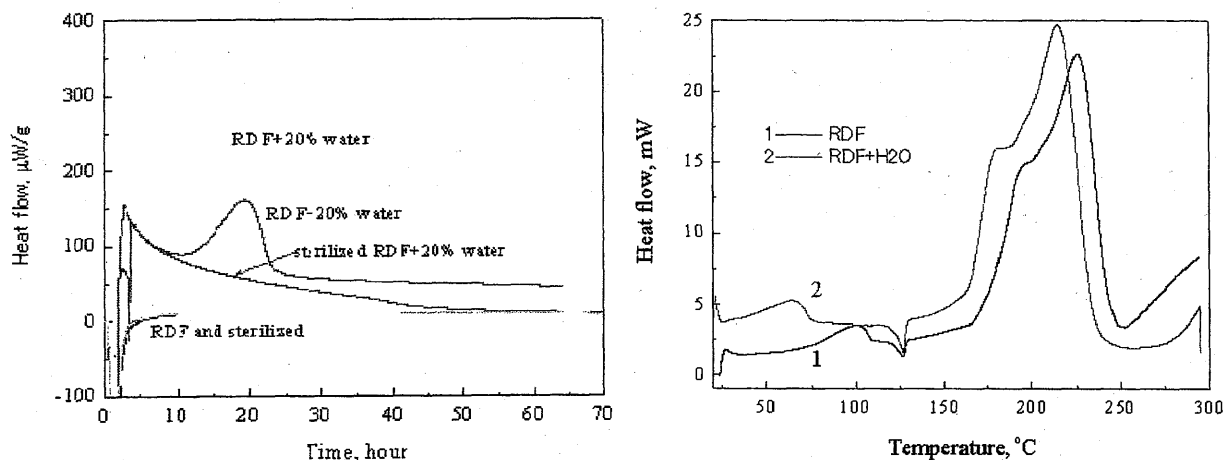


Fig. 2 RDF (ゴミ固化燃料) の発熱速度 (TAM と C 80)

(2) 発熱量

室温～50°C程度での発熱量は、高感度で発熱を検知出来る TAM のデータを採用した。汚泥燃料が最も発熱している。

(3) ガスの発生

試料をそのまま放置した場合、及び水を 20%(重量)加えた場合のガス発生を調べた。汚泥燃料化物、木質ペレット、RDF が、水素をわずかに発生することが判った。従って、サイロ等での貯蔵時、条件によっては発生したガスによって爆発が起こる可能性はある。ガス発生の原因は、発酵によると確認した。

(4) 水の影響

一般には水は、防火に役立つはずであるが、場合によっては水が存在することで、発熱量が増し、また、ガスを多く発生して火災危険が増す場合がある。鶏糞は、水添加で発熱、ガス発生量が大きく増加した。原因としては、発酵によるほか、化学反応、吸着等によっても発熱が起こる可能性がある。

表3 ガスクロマトグラフによるガス分析結果 (60°C)

燃料名	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄
木質ペレット (ホワイト)	0.10% (0.15%)	280ppm (223ppm)	1.43% (3.91%)	No (No)
木質ペレット (バーク)	0.10% (0.19%)	177ppm (344ppm)	4.35% (10.24%)	31ppm (No)
汚泥 A	No (No)	No (No)	5.92% (13.20%)	No (No)
汚泥 B	0.28% (0.35%)	38ppm (63ppm)	2.02% (10.17%)	32ppm (100ppm)
汚泥 C	0.12% (0.34%)	No (32ppm)	2.12% (14.57%)	No (29ppm)
汚泥 D	0.51% (0.35%)	47ppm (19ppm)	8.56% (12.54%)	No (No)
汚泥 E	No (No)	0.23 % (0.08%)	26.9% (33.1%)	6.01% (9.80%)
c-RPF	0.39% (No)	849ppm (0.33%)	4.76% (8.80%)	42ppm (46ppm)
鶏糞	0.08% (No)	No (5.79%)	18.81% (30.69%)	12ppm (12ppm)
RPF	No (No)	20ppm (20ppm)	0.53% (2.24%)	No (No)
RDF	0.31% (0.08%)	187ppm (1.18%)	3.81% (17.27%)	19ppm (No)

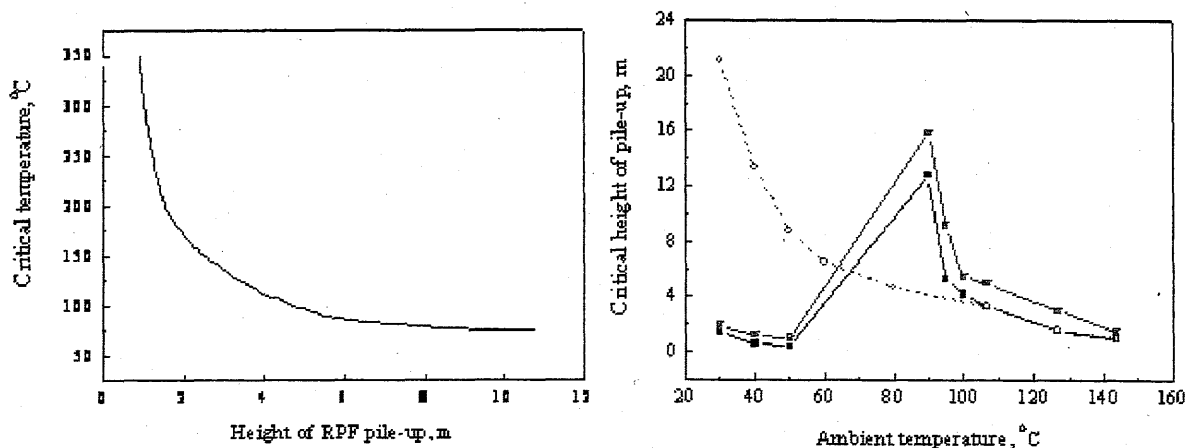
Values in the () are samples with 20% water

(5) 提供された物質の危険性の評価

各バイオマス燃料間及び水の有無による危険性を相対的に評価し、比較しやすくするために相対的な危険性ランクを基に、グラフを作成した。適用した各試料の危険性ランクは汚泥燃料、鶏糞は 30°C 以下でも発熱しやすい。また、これらは、いずれもガスを多く発生する。また、水添加で、発熱、ガス発生が促進される。

(6) 大量貯蔵時の発熱発火の推定

再生資源燃料等の大量貯蔵時の大略の発熱発火挙動を知るために数m~10m程度まで堆積した場合の発熱開始温度の推定をフランク・カメネツキー (Frank-Kammenetskii) 式に基づき行った。解析結果のうち、低温と高温側の反応メカニズムが同一なのか、現実的に妥当と思われるものを、図3に示した。



(a) RPF—低温と高温側の反応同じ

(b) 木材チップ —低温と高温側の反応違い

Fig. 3. F-K 計算結果