

バイオコークスボイラーの燃焼特性と暖房効果について

田 中 尚 道, 井 田 民 男, 宇 田 宏

(近畿大学バイオコークス研究所)

【目 的】

近畿大学および株式会社ナニワ炉機研究所で共同開発した農業用バイオコークスボイラーは、カーボンニュートラルであり、計算上は焼却時に発生する二酸化炭素がカウントされない環境負荷の少ないボイラーである。現在、農業用ボイラーおよび温風機は灯油や重油を燃料としているため、二酸化炭素による地球温暖化を招く恐れがある。一方、バイオコークスの原料は、植物系のものはすべて利用できるため、現在、埋立や焼却等の処分が行われている農業残渣や食品残渣等の再利用が可能であり、地球環境保全に大きく寄与できる新エネルギーであると考えらる。

そこで本研究では、バイオコークスボイラーに使用する燃料コークスの素材および投入量の違いによる燃焼温度特性を明らかにするために、北海道恵庭市にある近畿大学バイオコークス研究所において平成 25 年 2 月 1 日～3 月 7 日まで燃焼試験を行った。

【材料と方法】

写真 1 に示したバイオコークスボイラー試作 2 号機における、燃焼特性と温度特性を明らかにするために、Table 1 および Table 2 に示したような試験区を設定して燃焼実験を行った。



写真 1. バイオコークスボイラー試作 2 号機

調査項目は、燃焼炉温度、熱交換出口温度、1 次温水側温度、2 次温水側温度、外気温、ハウス内気温、温風送風口温度、プランター地温について 20 分間隔で測定した。

バイオコークス投入時間の設定は、1 時間 20 分 (80 分) のインターバルで燃料を自動供給装置にて投入した。温度の測定箇所は写真 2～6 に示したように、ボイラー本体 4 か所 (a. 燃焼室, b. 熱交換出口, c. 1 次側温水, d. 2 次交換出口) のほか、e. 温風吹き出し口, f.

Table 1. 試験区の設定 (1 回目燃焼試験 3 月 4 日～5 日)

試験区	燃料の素材	投入量 (Kg)	投入時間 (経過時間)
試験区 1	靴下	6	16 : 00 (0)
試験区 2	コーン・コブ	7	17 : 17 (1h17m)
試験区 3	コーン・コブ	6	17 : 54 (0h37m)
試験区 4	もみ殻+リンゴ	7	19 : 13 (1h19m)
試験区 5	茶葉	6	20 : 30 (1h17m)
試験区 6	コーン・コブ	7	21 : 47 (1h17m)
試験区 7	もみ殻+リンゴ	6	23 : 04 (1h17m)
試験区 8	茶葉	7	0 : 21 (1h17m)
試験区 9	コーン・コブ	6	1 : 38 (1h17m)
試験区 10	もみ殻+リンゴ	7	2 : 54 (1h16m)
試験区 11	茶葉	6	4 : 11 (1h17m)
試験区 12	コーン・コブ	7	5 : 28 (1h17m)
試験区 13	コーン・コブ	0 (未投入)	6 : 45

Table 2. 試験区の設定 (1 回目燃焼試験 3 月 5 日～6 日)

試験区	燃料の素材	投入量 (Kg)	投入時間 (経過時間)
試験区 1	茶葉	6	15 : 40 (0)
試験区 2	コーン・コブ	6	17 : 02 (1h22m)
試験区 3	もみ殻+リンゴ	6	18 : 19 (1h17m)
試験区 4	茶葉	7	19 : 36 (1h17m)
試験区 5	コーン・コブ	6	20 : 53 (1h17m)
試験区 6	もみ殻+リンゴ	7	22 : 10 (1h17m)
試験区 7	茶葉	6	23 : 27 (1h17m)
試験区 8	コーン・コブ	7	0 : 44 (1h17m)
試験区 9	もみ殻+リンゴ	6	2 : 01 (1h17m)
試験区 10	茶葉	7	3 : 18 (1h17m)
試験区 11	コーン・コブ	6	4 : 35 (1h17m)
試験区 12	もみ殻+リンゴ	7	5 : 52 (1h17m)



写真2. 本体温度測定箇所 (a: 燃烧室, b. 熱交換出口, c.1 次側温水出口, d. 2 次側温水出口)



写真3. 温度測定箇所 (e. 送風出口)



写真4. 温度測定箇所 (f. 室内温度)



写真5. 温度測定箇所 (g. 栽培地温)

ハウス内温度, g. 栽培地温およびh. 外気温を20分間隔で測定した。

今回の燃焼試験で使用した燃料のバイオコックスを写真7～10に示した。



写真6. 温度測定箇所 (h. 外気温)



写真7. 燃料 (靴下)



写真8. 燃料 (茶葉)



写真9. 燃料 (コーン・コブ)



写真10. (もみ殻+リンゴかす)

バイオコークスの原料は、靴下（綿花+ポリエステル+ナイロン）、茶葉（賞味期限切れの未使用）、リンゴかす（リンゴジュースを製造するために搾汁された残渣を乾燥したもの）、コーン・コブ（実は食用として利用され、残ったトウモロコシの芯を乾燥して粉碎されたもの）、もみ殻（稲の収穫後脱穀された殻の部分）を原料としてバイオコークス製造器にてバイオコークスに成形されたものを使用した。

それぞれの原料をバイオコークス製造装置にて製造し、直径120 mm、長さ22 cmに切断したものを、バイオコークスボイラーの燃料連続投入機にセットして、冬期間の夜間の低温から作物を保護し生育させるために必要な温度を確保するために、夜間の外気温の低い時間帯に燃焼実験を実施し、その温度の推移を明らかにするための、燃焼試験を行った。

【結 果】

本体の熱交換出口、1次側温水出口、2次側温水出口の温度の推移を Fig. 1 に示した。熱交換出口は、バイオコークスの熱を温風に変換し、ビニルハウス内に送風してハウス内温度を10℃以上に保つための装置である。

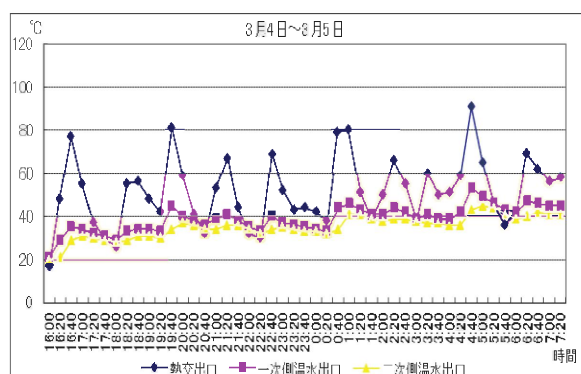


Fig. 1. b. 熱交換出口, c. 1次温水出口, d. 2次温水出口の温度推移 (1回目)

熱交換出口は、燃焼炉の温度に比例して変化し最低で22℃、最高で92℃であり、かなりの温度変化が見られた。一方、1次側温水出口と2次側温水出口の温度は、バイオコークスボイラー運転後から比較的安定して推移し、最低で28℃、最高で56℃であった。また、バイオコークスの投入回数が増えるにしたがって水温は若干上昇する傾向が見られた。

バイオコークスボイラによる燃焼試験の結果は、3月4日～5日（1回目）の燃焼炉の温度の推移 (Fig. 2) をみると最初に投入した靴下6kgの場合、着火より40分後に384℃ (max) になり、80分後には141℃になった。投入2回目のコーン・コブ7kgの場合では、燃焼炉の温度が低下する現象が見られ、投入後47分後に73℃まで低下したため、手で19:54分に投入3回目のコーン・コブ6kgを投入した。26分後炉温は236℃ (max) に上がり、46分後には212℃に下がった。4回目は19:13 (炉温177℃) にもみ殻リンゴかす7kgが投入され、27分後に483℃ (max) まで上昇したが、47分後には259℃となった。5回目は20:30 (炉温171℃) に茶葉6kgが投入され、50分後に318℃ (max) となった。6回目は21:47 (炉温180℃) にコーン・コブ7kgが投入され、53分後に321℃ (max) となった。7回目は23:04 (炉温213℃) にもみ殻+リンゴ6kgが投入され、36分後に172℃ (max) となった。8回目は0:21 (炉温148℃) に茶葉7kgが投入され19分後に480℃ (max), 39分後では376℃となった。9回目は1:38 (炉温178℃) にコーン6kgが投入され、42分後に295℃ (max) となった。10回目は2:54 (炉温150℃) にもみ殻+リンゴが投入され、26分後に247℃ (max) となった。11回目は4:11 (炉温188℃) に茶葉6kgが投入され、29分後に540℃ (max) となり、49分後に297℃となった。12回目は5:28 (炉温206℃) にコーン・コブ7kgが投入され、52分後に353℃ (max) となった。

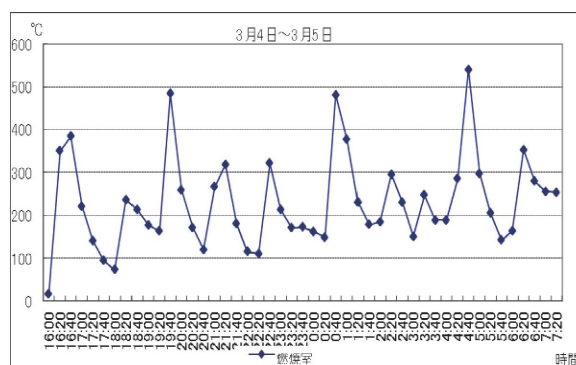


Fig. 2. a. 燃焼室の温度変化 (1回目)

ボイラーの燃焼に伴うハウス内の送風口の出口温度, ハウス内の室温, 栽培プランターの地温および外気温の推移について Fig. 3に示した。外気温は, ボイラー運転時で -0.7°C で20:00を過ぎた頃から急激に低下し -9.2°C となり6:00頃まで -6°C 前後で推移した。ハウス内の室温は, ボイラー運転開始の16:00~翌朝の6:40まで, はば 10°C 前後で推移した。栽培プランターの地温は, 16:00では 20°C であったが, 外気温の低下に伴って, 徐々に地温は下がり, 翌朝6:00では 13.8°C となった。送風口出口は, ボイラーの燃焼炉の温度に比例して推移しており, 最低で 14.5°C , 最高で 34.8°C で平均すると 20°C 前後の温風をハウス内に供給していることが分かった。

3月5日, 6日に行ったバイオコークスボイラーの燃焼炉の結果を Fig. 4に示した。15:40に茶葉6kgを投入し, 着火した結果, 40分後に 299°C (max)となり, 80分後に 132°C となった。17:02に次のコーン・コブ6kgが投入され, 20分後に 423°C (max)となり80分後には 122°C となった。次に18:19にもみ殻+リングかす6kg投入され, 80分後に 196°C (max)となり, 次の茶葉7kgが19:36に投入された。20分後に 222°C (max)となり, 80分後に 191°C となった。次にコーン・コブ6kgが18:19に投入され, 40分後に 393°C (max)

となり, 80分後に 151°C となった。22:10にもみ殻+リングかす7kgが投入され, 50分後に 271°C (max)となり70分後に 169°C となった。次に茶葉6kgが23:27に投入され, 73分後に 102°C (max)となった。0:44分にコーン・コブ7kgが投入され, 36分後に 498°C (max)となり, 76分後に 220°C となった。2:01分にもみ殻+リングかす6kgが投入され, 40分後に 313°C (max)となり, 80分後に 141°C となった。3:18に茶葉7kgが投入されたが, 投入後炉温の上昇は見られず, 80分後 75°C となった。4:35にコーン・コブ6kgが投入され, 80分後に 362°C (max)となり, 5:52分に最後のもみ殻+リングかす7kgが投入され, 20分後に 478°C (max)となり80分後に 144°C となった。

本体の熱交換出口, 1次側温水出口, 2次側温水出口の温度の推移を Fig. 5に示した。熱交換出口は, 1回目の燃焼試験とはほぼ同様の傾向が見られ, 最低で 22°C , 最高で 103°C であった。一方, 1次側温水出口と2次側温水出口の温度は, 安定して推移し, 最低で 26°C , 最高で 58°C であった。

ボイラーの燃焼に伴うハウス内の送風口の出口温度, ハウス内の室温, 栽培プランターの地温および外気温の推移について Fig. 6に示した。外気温は, ボイラー運転時で 0°C で20:40を過ぎた頃に -3.2°C となり6:00頃

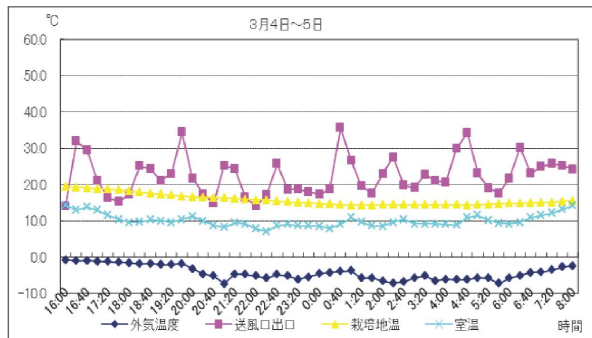


Fig. 3. 送風口出口, 室温, 栽培地温, 外気温の推移 (1回目)

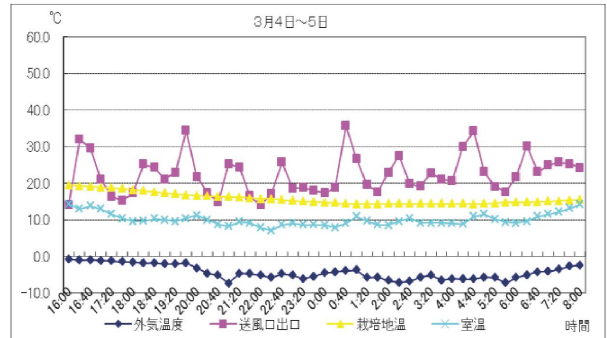


Fig. 5. b. 熱交換出口, c. 1次温水出口, d. 2次温水出口

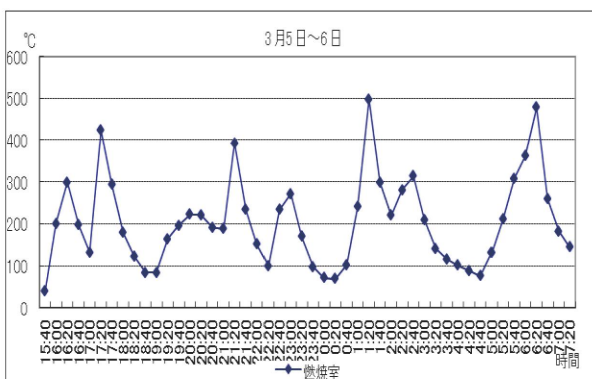


Fig. 4. a. 燃焼室の温度変化 (2回目)

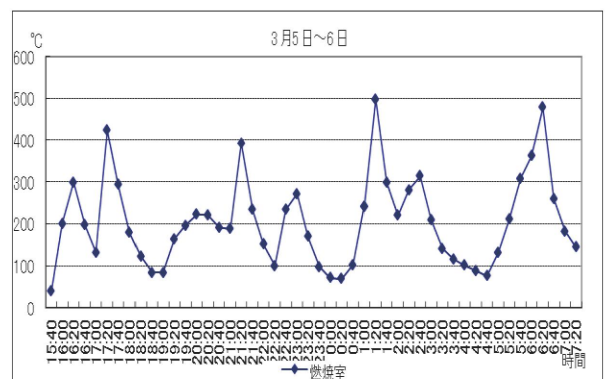


Fig. 6. 送風口出口, 室温, 栽培地温, 外気温の推移 (2回目)

まで0℃前後で推移した。ハウス内の室温は、ボイラー運転開始の16:00では22℃で日没と同時に急激に低下し10℃まで下がり、翌朝の6:40まで、ほぼ10℃前後で推移した。栽培プランターの地温は、16:00では20℃であったが、外気温の低下に伴って、徐々に地温は下がり、翌朝6:00では14℃となった。送風口出口は、ボイラーの燃焼炉の温度に比例して推移しており、最低で12.5℃、最高で41.4℃で平均すると20℃前後の温風をハウス内に供給していることが分かった。

1回目の燃焼試験における、原料の違いによる燃焼温度の推移についてFig. 7に示した。4種類の原料の中で最も燃焼炉の温度が高かったのが靴下であり、6kg投入時で398℃、9kg投入時で500℃であった。茶葉は6kg投入時で323℃、7kg投入時で327℃であった。コーンコブは6kg投入時で228℃、7kg投入時で321℃であった。もみ殻+リンゴかすでは、6kg投入時で298℃、7kg投入時で248℃であった。

一方、原料の違いによる温度の上昇時間をみると靴下では、投入20分後で燃焼炉の温度は急激に上昇したが、他の原料では、投入後燃焼炉の温度がいったん下がり、その後ゆっくり上昇する傾向が見られた。

2回目の燃焼試験における、原料の違いによる燃焼温度の推移についてFig. 8に示した。3種類の原料の中で最も燃焼炉の温度が高かったのがコーン・コブであり、6kg投入時で418℃、9kg投入時で500℃であった。茶

葉は6kg投入時で298℃、7kg投入時で221℃であった。もみ殻+リンゴかすでは、6kg投入時で178℃、7kg投入時で267℃であった。

一方、原料の違いによる温度の上昇時間をみると茶葉とコーン・コブでは、投入20分後で燃焼炉の温度は急激に上昇したが、もみ殻+リンゴかすでは、投入後燃焼炉の温度がいったん下がり、その後ゆっくり上昇する傾向が見られ、1回目の試験とは異なる傾向が見られた。

【要 約】

1. バイオコークスボイラーの燃焼試験を行った結果、外気温が-10℃前後でも室内温度は10℃前後を保ち、プランター内の地温も約13℃を保つことが明らかとなった。
2. 外気温が-10℃前後の時には、ビニルハウス内室温10℃および地温13℃を保つためには、約70kgのバイオコークスが必要であった。
3. バイオコークスの原料の違いにより燃焼速度と燃焼最高温度が異なり、茶葉は燃焼しにくく、靴下は燃焼しやすかった。
4. 自動供給機でバイオコークスを投入する場合、投入されたバイオコークスの着火に必要な炉内温度がないと着火が不安定なため、燃焼速度と燃焼温度に著しい影響を及ぼしているものと思われる。
5. 自動供給機は、現在は継時的に燃料を投入する方式であるが、燃焼炉温度による投入方式が、投入後の速やかな着火やバイオコークスの燃焼温度、燃焼時間等の効率化を図れるものと思われる。
6. 効率的なバイオコークスボイラーの運転を行うには、バイオコークスボイラーの燃焼装置に適した原料を選定し、利用することが必要であると思われる。
7. バイオコークスの燃焼過程で、着火して完全燃焼するまでにかなりの排煙の発生が見られるため、投入後の排煙の発生を抑制するためにも、着火に必要な燃焼炉の温度の確保が必要であると思われる。
8. 今回の燃焼実験は、計6回行ったが、自動投入機の不具合で3回、投入したバイオコークスの鎮火で1回、途中までしかデータの取得が出来なかった。このことから、今後自動投入機の改良が必要であると思われる。

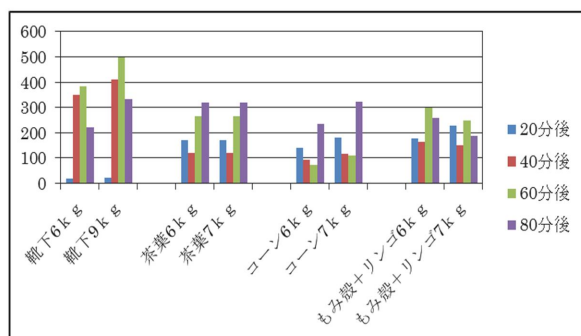


Fig. 7. 原料の違いによる燃焼後の温度の推移 (1回目)

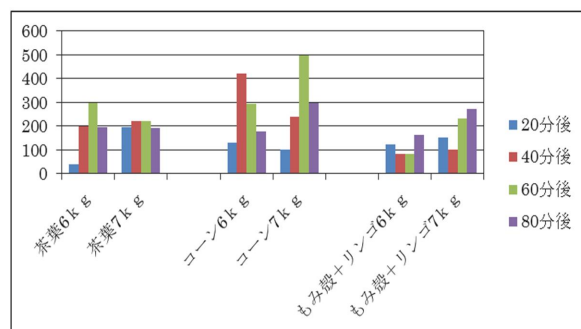


Fig. 8. 原料の違いによる燃焼後の温度の推移 (2回目)

【謝 辞】

本燃焼試験において、燃料の調整、ボイラーの運転並びにデーターの取得にご協力いただいた本研究所、藤井

貴彦氏、青山克彦氏、株式会社グリーン・ブリーズ大町敏行氏に謝意を表します。また、ボイラーの調整と改良を頂いた株式会社ナニワ炉機研究所 村田博敏専務に御礼申し上げます。