HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	空気流通式熱天秤による固体燃料の揮発分放出および着火点の測定
Author(s)	谷口，博；工藤，一彦；佐山，惣吾 他
Citation	北海道大學工學部研究報告，133，9-14
Issue Date	1986-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42009
Type	departmental bulletin paper
File Information	133_9-14.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第133号（昭和61年）

Bulletin of the Faculty of Engineering.
Hokkaido University, No. 133 (1986)

空気流通式熱天秤による固体燃料の揮発分放出および着火点の測定

谷口　博*　工藤一彦*　佐山惣吾**
上出光志***　森本茂樹***　牧野和夫****
熊谷直樹*　阿部淳一*

（昭和61年6月30日受理）

A Study on the Measurements of Devolatilization and Fire Point of Solid Fuels by an Airflow Type Thermobalance

Hiroshi TANIGUCHI, Kazuhiko KUDO, Sogo SAYAMA,
Mitsushi KAMIDE, Shigeki MORIMOTO, Kazuo MAKINO,
Naoki KUMAGAI and Jun-ichi ABE

(Received June 30, 1986)

Abstract

A combustion phenomenon of solid fuels is classified in two categories of decomposed combustion and surface combustion.

Therefore we should analyze the phenomenon by use of devolatilization of solid fuels and so on.

Then when we have some results of the devolatilization we should always consider how to measure the results.

When we use a non-airflow type thermobalance for this purpose the results have a problem which contains the effect of accumulation of gaseous volatile matter from the fuels.

Furthermore if we have other results of fire points we should also consider which type of thermobalance is better. When we use the non-airflow type these fire points will have another effect of oxygen concentration because the accumulation of volatile matter dilutes its concentration.

The authors have attempted to measure the above devolatilization and fire point by an airflow type thermobalance which is introduced in this study.

This thermobalance is equipped with an oxygen control system in order to change the rate of air flow. Then the results of devolatilization are obtained under the effect of heating rate and the other results of fire point are obtained under the effect of oxygen concentration.

* 機械工学科　熱機関学第一講座
** 北海道工業開発試験所
*** 北海道立工業試験場
**** 高圧化学技術研究所

1. ま え が き

石炭などに代表される固体燃料の燃焼は，揮発分の放出による分解燃焼と放出終了後の表面燃焼に大別され，図1に示される着火・燃焼過程をたどるものと考えられる。まず，固体燃料は火炎などからの放射伝熱や高温の空気あるいは燃焼ガスによる対流伝熱により加熱され，燃料の温度上昇とともに揮発分が放出される。このように固体燃料から揮発分が放出されると燃料の表面状態は変化し，また燃料表面近傍の酸素濃度なども変化することになる[1)~3)]。当然のことながら，その変化は燃料表面に沿う流れ場にも依存することとなり，温度場および濃度場とも分布を有しているのである。着火温度に達した場合には燃焼を開始し，達しない場合は揮発分の放出が続きコークス化して行く。燃焼を開始し保炎条件が満されれば，火炎が存在する分解燃焼を継続するが，形成された火炎からの放射伝熱による燃料表面加熱の影響を受けることとなる。固体燃料が揮発分を放出し終って表面燃焼に移行した後も，燃焼生成物の発生により燃料表面近傍の酸素濃度などが変化するので，燃焼に影響を与えるものと考えなければならない。

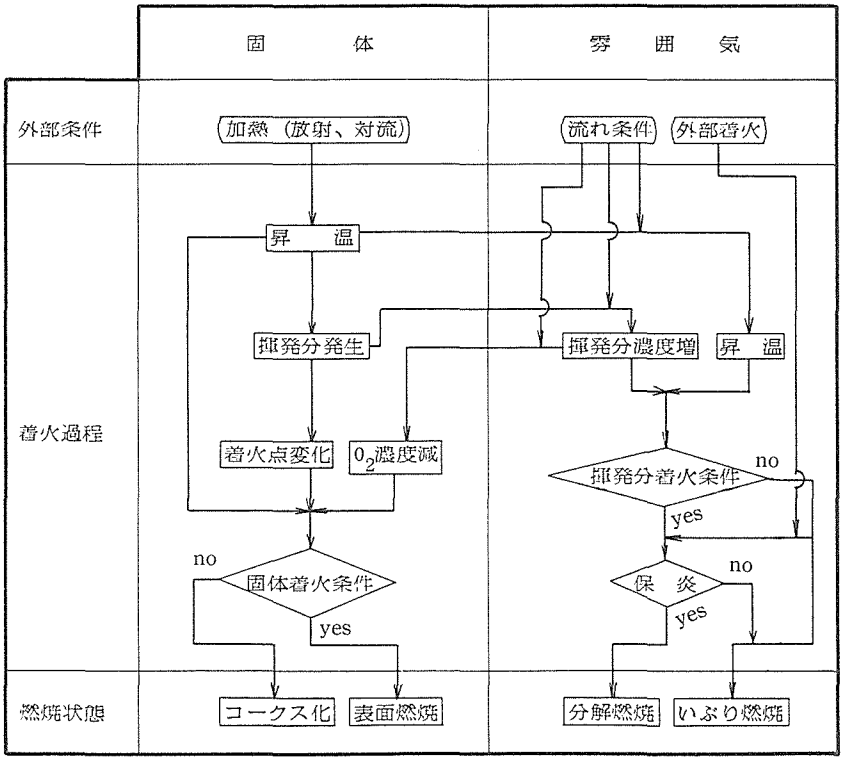

図1　固体燃料の着火・燃焼過程

従って，固体燃料の燃焼特性を調べる基礎実験を行う場合[4),5)]には，取扱いの容易さのみの見地から，温度場，濃度場および流れ場を無視した簡単化は望ましくないので，実際の現象を考えながら条件設定をしなければならない。単なる燃焼特性の解明であれば，簡単化も許容されようが，

その結果を安易に実用に供することは避けなければならないであろう。一般に採用されている熱天秤は非流通式であり，測定時の試料への通気が行われていないので，工業用燃焼装置における挙動を知ることはできない。本研究にて作成・使用した流通式熱天秤を採用すれば，燃料表面に沿う流れ場を変化させ，揮発分放出割合の温度依存性を測定し，着火点に及ぼすその濃度の影響を調べることができる。また，供給する気流中の酸素濃度を変えることにより，着火に及ぼす酸素濃度の影響も容易に求められる。これに反し，非流通式では放出された揮発分の停滞によりその後の放出が変化したり，着火点への影響も成行きの測定結果になるなど，基礎データの収集が難しいものと思われる。本稿では，以上の点に注目して測定した結果を報告しているが，今後種々の因子の影響について逐次研究を進める予定である。

2. 測 定 装 置

固体燃料加熱時の揮発分放出を非燃焼場で測定するため，不活性の気流中で燃料試料を昇温させ重量変化により求める方法を採用している。図2は，測定装置の概略を示すもので，試料は下方より支えて荷重変換器に接続し，不活性の窒素を下方より支持棒を通して試料中に導いている。試料の加熱は電気炉により行われるが，予め所定の温度に保たれた電気炉を試料部分に装着して急速加熱を実現することもできるとともに，支持棒を通る気流も同時に加熱され試料中に供給されるのである。図3は，試料の保持部詳細を示したもので，試料の代表温度を測定するため中心部および外縁部二ヶ所に熱電対を設置し，試料の下部にはカオウールを詰め，気流の閉塞を防いでいる。従来の非流通式熱天秤では，試料をいかに小さくしても表面に窒素気流が供給され中心部には拡散にたよるのみであり，加熱も表面よりの放射伝熱の浸透によっているので，燃料が実際に気流中にさらされる場合の条件と大きく異っているといえよう。流通式を採用すれば，燃料中に常時気流が供給されており，供給前に支持棒通過に伴い予熱され，放射伝熱と対流伝熱による加熱で温度分布の少い昇温を実現することができる。

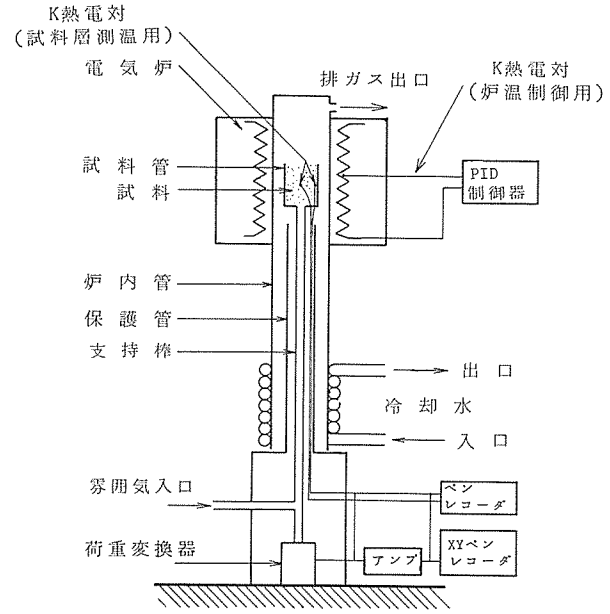

図2　空気流通式熱天秤の構成

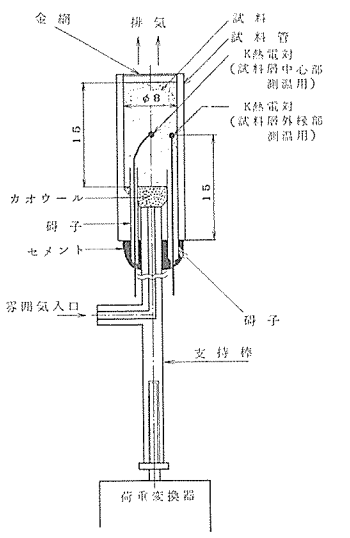

図3　空気流通式熱天秤の試料保持部

測定時には，電気炉壁面に取付けられた熱電対によってＰＩＤ制御器を介し設定温度を保持するよう電気炉入力を調節している。また，荷重検出部には抵抗線ひずみ計が取付けられており，試料変化に伴う重量変化をＸ－Ｙレコーダにて記録している。同時に，試料中心部および外縁部の温度を時間の経過とともに記録し，昇温速度あるいは両者の温度差を求めることとしている。対象とした試料は，表１に示す石炭およびオイルコークスであり，粒度35～60メッシュの0.3gの絶乾状態から測定を行っているが，遂次人工燃料（石炭・木材混合），模擬燃料（固定炭素，揮発分，灰分標準混合）などへ測定範囲を拡げることとしたい。窒素供給量の影響に関心を抱いているが，本稿では100cm³/min一定の条件の測定結果を紹介することとし，後日供給量を変化させた測定を行う予定である。昇温速度による影響も興味深い点であり，従来その影響について検討されているが，非流通式の場合は多少疑問の残るところである。ここでは，比較的遅い条件の10 deg/min から装置の能力一杯の30deg/min の範囲で変化させ測定している。

表１　測定試料の工業分析

試　　料	市販オイルコークス	瀝青炭	褐　炭
固定炭素	87.6	28.5	30.1
揮発分	11.4	40.0	44.4
水　分	0.6	3.3	10.5
灰　分	0.4	28.2	15.0

固体燃料の着火点は，燃料の揮発分放出と関係が深いことが知られているが，燃料表面への酸素供給が放出される揮発分により妨げられる効果を考え合わせると，着火点測定に際しての試料中の気流の有無が重要な課題となろう。従来の着火点測定では，あまりこの点を重視していなかったため，殆ど静止状態での空気中に試料を置き測定しているようである。この条件では，放出された揮発分と周囲よりの酸素の拡散状況によっては，着火点が相当左右されることも予想されるので，雰囲気中の酸素濃度による着火点への影響などとても測定できるとはいえない。実際の条件では，酸素濃度が燃焼生成物により希釈されて低下していることも考えなければならず，場合によっては酸素富化燃焼時の基礎データも必要であるから，試料に供給される気流中の酸素濃度を定量的にはあくできる装置であることが望まれるのである[6]。

図２および図３に示した装置は，空気流通式着火点測定用としても使用できるものであり，場合によっては同一試料にて揮発分放出割合との同時測定が可能のように製作してある。着火点測定に際しては，試料中心部と外縁部との温度差を試料温度とともに記録し，温度差の急増点をもって着火点とみなすこととした。試料外縁部は容器温度を示しているので，外部からの放射伝熱による加熱に応じ昇温するが，試料中心部の燃料は酸化反応が盛んとなる着火点付近より昇温割合が急増するので，中心部と外縁部の温度差が急増することとなり着火点の判定が可能となる。このような測定法においては，着火点の判定に個人差が介入しそうに思われるが，上記の温度差の急増は変曲点をともなっていることから，殆ど個人差は認められないのが現状である。

3．測　定　結　果

図４および図５は，石炭およびオイルコークスの揮発分放出割合の測定結果である。石炭（瀝

青炭，褐炭）では，550K～850K の温度範囲に揮発分放出の顕著なピークが存在しており，測定した範囲では昇温速度による影響はあまり認められない。これに反し，オイルコークスでは上記温度範囲で殆ど揮発分放出のピークが見当らないが，昇温速度による影響が若干認められており，30deg/min の場合には750K 以上で揮発分放出の増加傾向が現れている。石炭に比べオイルコークスの揮発分放出が極めて少いこと，30deg/min 以上での揮発分放出割合の増加傾向から考えると，オイルコークスに対し900K 以上の測定を続行することができれば，揮発分放出の顕著なピークが現れるかも知れない。この点に関しては，今後の測定装置の改善が望まれるところである。石炭に比べオイルコークスは，揮発分が¼程度と少く，上記のとおり揮発分放出がより高温側に移行しているので着火性に問題があり，分解燃焼の火炎による燃焼性向上はあまり期待できないものと思われる。一方，石炭については褐炭のほうが瀝青炭よりも揮発分放出のピークが低温側にあることから，着火性はむしろ良好であることが予想される。しかし，褐炭は瀝青炭に比べ相当水分が多いので，その蒸発熱および発生水蒸気による着火性の低下も無視できず，両者の相殺で判断しなければならない。

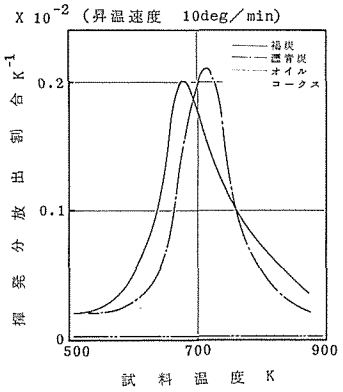

図4　熱天秤による固体燃料の揮発分放出割合測定結果（その１）

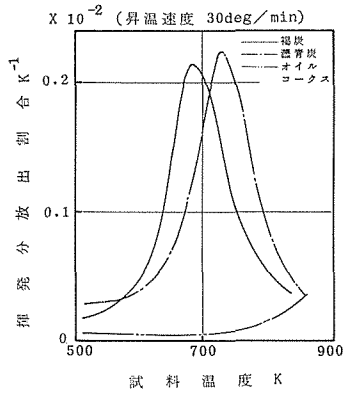

図5　熱天秤による固体燃料の揮発分放出割合測定結果（その２）

図６は，昇温速度10deg/min における着火点の測定結果であり，予想されるとおり酸素濃度低下により急激な上昇を示している。測定に際しては，空気供給量を300cm³/min として試料中の放出された揮発分停滞を防ぐ条件としたので，支持棒の振動が発生し重量変化との同時測定は行っていない。空気供給量の影響は，気流中の濃度との関連もあることから実際に適合する条件を調べ，装置の改造も含め今後の課題としたい。石炭およびオイルコークスとも，酸素濃度による影響はほぼ同じであるが，着火点はオイルコークス，瀝青炭，褐炭の順に低くなっており，前述の揮発分放出割合のピークが低温側に見られるものほど着火点が低いことがわかる。つぎに，昇温速度の影響を調べたが，図７のとおり10deg/min より30deg/min の場合のほうが着火点が低下する傾向を示している。いずれにしても，着火点に関しては固体燃料の揮発分放出割合の温度依存性と関係が深く，当然のことではあるが酸素濃度による影響を無視することができない。非流通式着火点測定結果では，揮発分放出時の停滞の影響，酸素濃度の不確かさによる影響などの点に疑問の残る値であり，コンピュータ・シミュレーション等に利用しようとする場合，一般的には適当でないといえよう。従って，本稿で述べたような流通式着火点測定結果などの基礎データの集積が望まれるのである。

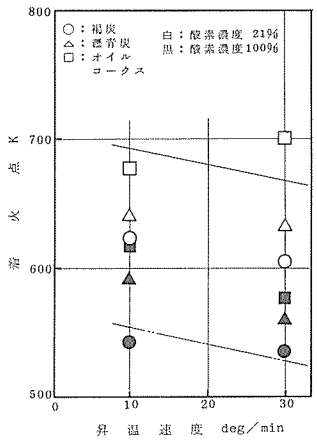

図6　熱天秤による固体燃料の着火点測定結果（その1）

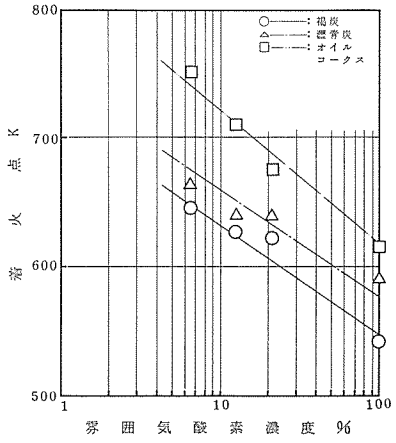

図7　熱天秤による固体燃料の着火点測定結果（その2）

4. ま　と　め

以上に述べた固体燃料の揮発分放出および着火点の測定結果は，従来から蓄積されてきた基礎データと大巾に異るものではないが，前者についてはとくに実際条件より掛離れた非流通式の問題点を提起したのである。また，燃料試料の加熱方法についても，外部からの放射伝熱等のみで行う場合，試料中での温度分布の発生は避けられず，代表温度の解釈も種々あって測定結果に対する一般性の乏しい値ともなろう。流通式熱天秤でも，加熱速度の制御，試料中の温度分布などに多少の問題点はあるものの，放出された揮発分の停滞による影響は防げるので，とくに気流中の酸素濃度を規定値に保つことは容易である。着火点に対する酸素濃度の影響を無視できないことを知るとき，流通式による測定値の蓄積が必要と考えられよう。

従来の燃焼解析が，定性的な結果を得るに止まっていたのに対し，近年のコンピュータの発達とともに定量的なシミュレーション結果を期待するように変貌していることは周知のとおりである。従って，本稿で述べたような基礎データも，実際条件を念頭においた測定装置を使用した値に切換える必要があろう。本研究にて試作した空気流通式熱天秤は，未だ二三の構造上の欠点はあるものの，所定の結果を一部得ることができたので，今後引続き測定を行い報告することとしたい。関係各位のご批判を頂ければ幸いである。

本研究を進めるに際し，工学部須田金文技官をはじめ当時4年目学生岩崎哲也，現在4年目学生岡本貴夫の諸氏の協力を得た。ここに付記して謝意を表する次第である。

引用文献

1) D. B. Anthony, J. B. Howard, H. C. Hottel and H. P. Meissner: 15th Symp. on Combustion, (1975), p. 1303～1317
2) J. L. Krazinski, R. O. Buckius and H. Krier: Prog. Energy Combustion Science, 5 (1979), p.31～71
3) W. R. Seeker, G. S. Samuelsen, M. P. Heap and J. D. Trolinger: 18th Symp. on Combustion, (1981), p. 1213～1226
4) 藤田英夫，聖山光政，西田清二：燃料協会誌，61（1982）658，p.109～117
5) 鈴木俊光，三嶋優，伊藤真樹，渡部良久，武上善信：燃料協会誌，61（1982）662，p.397～404
6) 上出光志，谷口博，工藤一彦，佐山惣吾：日本機械学会北海道支部講演論文集，842（1984），p.121～123