

【15】

氏 名 (本 籍)	たき 瀧	がわ 川	とも 具	ひろ 弘 (東京都)
学 位 の 種 類	農 学 博 士			
学 位 記 番 号	博 甲 第 128 号			
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 3 月 25 日			
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当			
審 査 研 究 科	農 学 研 究 科 農 林 工 学 専 攻			
学 位 論 文 題 目	農 産 粉 じ ん の 爆 発 性 に 関 す る 基 礎 的 研 究 — 特 に 発 火 温 度 に 関 す る 研 究 —			
主 査	筑波大学教授	農学博士	山 澤	新 吾
副 査	筑波大学教授	農学博士	相 原	良 安
副 査	筑波大学教授	農学博士	江 崎	春 雄
副 査	筑波大学助教授	農学博士	吉 崎	繁
副 査	筑波大学助教授	工学博士	小 嶋	英 一

論 文 の 要 旨

農産粉じんによる爆発事故の防止は、農産加工・調製施設の安全管理上、重要な位置を占めている。粉じん爆発は、粉じん雲が高温の物体、スパーク、裸火などに接触して発火することによって開始される。高温物体による粉じん雲の発火を防ぐためには、大規模プラント内の高温物体の温度を、粉じん雲に接触しても発火しない温度に保つ必要がある。米国、英国、西独などの各国では、粉じんの爆発性に関する特性値を測定する標準法が定められており、多くの農産粉じんの発火性や爆発性に関する特性値が、この標準試験法によって測定されている。標準試験法においては、炉装置と呼ぶ高温の炉内を通過する粉じん雲が発火する最低の炉温を測定し、発火温度と呼んでいる。炉装置で測定される発火温度を、大規模プラント内部の高温物体と接触した粉じん雲が発火する温度と同一とみなすことには、炉装置と高温物体では寸法や形状に差異があるために問題がある。このため、炉装置で測定される発火温度に基づいて、高温物体に接触する粉じん雲の発火過程の解析する方法を確立しなければならない。炉装置内部の粉じん雲の発火過程の解析は、野村と田中、CasselとLiebman、NagyとSurincikなどによって試みられている。しかし、いずれの理論も、炉装置によって測定されている発火温度との関係が表現できない。このために、本研究では、(1)、炉装置内の粉じん雲に関する熱、物質収支式を導びき、この収支式を解くことによって発火過程の解析を試みた。(2)、また、炉装置で測定される発火温度と粒径との関係について理論的な検討を行い、この関係を

表現できる理論式の作成を目指した。

第1章は、もみから粉体の爆発性に関する2, 3の実験, もみ乾燥調製施設内の堆積粉じんの発火性と爆発性の測定, 標準試験法による農産粉じんの発火性および爆発性の測定に関する問題点についての検討である。この内で、著者は(1), 標準試験法によって測定される発火性に関するデータは、防爆対策に応用する方法が確立されていないこと, (2), 標準試験法による測定時の粉じん雲の爆発過程や発火過程が不明であることを述べ、本研究を進める必要性を明らかにした。

第2章は、Nusselt, CasselとLiebman, NagyとSurincik, BandyopadhyayとBhaduri, Stevensonら, Thomasら, AnnamalaiとDurbetaki, 野村と田中によって行なわれた発火温度の理論的研究の検討である。この結果、従来行なわれた発火過程の解析では、炉装置によって測定される発火温度が粒径の増加にともない上昇する傾向を表わせないことを明らかにしている。

第3章は、炉装置内の粉じん雲の発火過程の解析理論についての検討である。著者は、従来の理論の仮定が炉装置による発火温度の測定状態に適合していない点を検討し、炉装置内を通過する粉じん雲をモデル化した。

そして、粉じん粒子群と空気との両相について熱、物質収支を考えて導いた理論式を提唱した。

$$\text{反応式} \quad R_T = K_{chem} \cdot K_{mass} \cdot P_o / (K_{chem} + K_{mass}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{物質収支式} \quad M = \rho_m u = \text{const} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$-M \frac{dz}{dt} = \frac{6 z \rho_m R_T}{d_p \rho_p} \quad \dots\dots\dots(3)$$

熱収支式

$$\text{気相側} \quad M \frac{d[(1-z) C_{vg} T_g]}{dx} = \frac{4 h_w}{d_w} (T_w - T_g) + \frac{6 z \rho_m h_p}{d_p \rho_p} (T_p - T_g) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{固相側} \quad M \frac{d(z C_{vp} T_p)}{dx} = \frac{6 z \rho_m}{d_p \rho_p} [h_p (T_g - T_p) + QR_T + F \sigma \epsilon_p \epsilon_w (T_w^4 - T_p^4)] \quad \dots\dots\dots(5)$$

組式

$$\text{酸素} \quad M \frac{d[(1-z) Y_o]}{dx} = -\frac{6 z \rho_m \nu_o R_T}{d_p \rho_p} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{生成物} \quad M \frac{d[(1-z) Y_{co}]}{dx} = \frac{6 z \rho_m \nu_{co} R_T}{d_p \rho_p} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{補助式} \quad Y_o + Y_{co} + Y_N = 1 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\rho_g T_g = P_g (MW)_g / R \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$(MW)_g = [Y_o / (MW)_o + Y_{co} / (MW)_{co} + Y_N / (MW)_N]^{-1} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\rho_m = \rho_g \rho_p / [(1-z) \rho_p + z \rho_g] \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$P_o = (MW)_g Y_o P_g / (MW)_o \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{ここで,} \quad K_{mass} = MC \cdot k_{gf} \cdot \phi \cdot P_g / [RT_{gf} (P_g + P_{os})] \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$K_{chem} = A_a \exp(-E/RT_p) \quad \dots\dots\dots(14)$$

ここで、 A_a ：ひん度因子、 C_v ：比熱、 d ：直径、 E ：活性化エネルギー、 F ：形態係数、 h ：境膜伝熱係数、 k ：物質移動係数、 K ：反応速度係数、 M ：質量フラックス、 MC ：1モルの酸素と反応する固体の質量、 MW ：モル質量、 P ：圧力、 Q ：発熱量、 R ：気体定数、 R_T 、 R_{chem} 、 R_{mass} ：反応速度、 T ：温度、 u ：速度、 x ：距離、 Y ：気体の質量分率、 z ：固体の質量分率、 ϵ ：放射率、 ρ ：密度、 σ ：ステファン・ボルツマン定数、 ϕ ：物質移動補正係数、添字CO：反応生成物、 f ：境膜、 g ：気相、 m ：混合物、 N ：チッ素、 O ：酸素、 P ：粒子、 S ：粒子表面、 W ：炉壁

第4章は、農産粉体の発火性に関する実験である。上記の理論式には、燃焼反応速度式が含まれているが、農産粉体の燃焼反応速度を扱った報告はほとんど見当たらない。そこで、数種の農産粉体の熱分解、燃焼試験を行ない、得られたデータの反応速度論的解析を行なった。この結果、コーン・スターチ、小麦粉、もみがら粉体の揮発分の燃焼反応の活性化エネルギーは、それぞれ200~380 kJ/mol、190~250 kJ/mol、90~95 kJ/molであるとの知見を得た。また、揮発分の異なる6種の数体の発火温度を、炉装置によって測定し、発火温度と粒径との関係について検討を加えた。測定の結果、炉装置によって測定される発火温度が粒径の増加にともなって上昇する傾向にあることを、測定した粒径の範囲がせまかったコーン・スターチと小麦粉以外の粉体について確認した。

第5章は、炉装置内の粉じん雲の発火過程の解析である。第3章で導いた(1)~(4)式を数値計算して、もみがら粉体と太平洋炭粉体の予測発火温度を求め、上記の実験により得た実測値との比較を行なった。この結果、(1)~(4)式の理論式は、120 μm 以下の粒径では、発火温度と粒径との関係を表現できることを明らかにした。また、炉装置によって測定される発火温度が粒径の増加にともない上昇する原因として、(1)、粒径の増加にともなって、粒子の昇温速度が遅くなることと、(2)、粒径の増加にともなって粒子から空気への伝熱量が減少し、この伝熱による空気温度の上昇が無視できるようになることが考えられることを明らかにした。理論的には、上記の(1)、(2)の影響が少ない条件では、発火温度は粒径の増加にともない下降するものと予想された。しかし、農産粉体に関しては、このような報告は見当たらない。そこで著者は、粒じんが炉内に数秒間滞留し、昇温速度の影響が少なくなり、かつ粉じん濃度が薄く、粒子群からの伝熱による空気温度の上昇が無視できるような実験装置を試作し、もみがら粉体の発火温度を測定した。その結果、試作装置で測定された粒径22 μm ~115 μm のもみがら粉体の発火温度は、粒径の増加にともない下降することが明らかになった。また、酸素濃度6%~21%の範囲では、もみがら粉体の発火温度は酸素濃度の増加にともない下降することを明らかにした。なお、これらの実験値の傾向は、Stevensonらが導いた単一粒子に関する理論式により表現できることを明らかにした。

審 査 の 要 旨

農産粉じんの爆発性に関する基礎的研究として、特に発火温度についての理論および実験的検討を行なった。この方面の研究は、従来ほとんど研究が行なわれていなかった分野であり、著者は鉦

山関係の粉じん爆発の研究を手がかりに、農産粉じんの爆発性に着目し研究成果をあげたもので、先駆的な研究として評価されるものである。著者は、農産粉じんによる爆発防止のための、それらの粉じんが発生する加工・調製施設における高温物体による粉じん雲の発火を防ぐためには、粉じん雲に接触しても発火しない温度に保つ必要があることを提唱している。このためには、農産粉じんに対し発火性や爆発性に関する特性値の測定が必要であり、各国で行なわれている従来の標準試験法を検討のうえ、これに改良を加えた試験法のもとで、炉装置内の粉じん雲に関する熱、物質収支を導びき、発火過程の解析を試み、改良された試験法により炉装置で測定された発火温度と粒径との関係について検討を加えた。著者は、もみがら粉体の爆発性について、従来の標準試験法で測定された発火性に関するデータは、防爆対策に応用する方法が確立されていないこと、およびこの方法では粉じん雲の爆発過程や発火過程が不明であることを検証した。また、従来の研究者の理論式を検討した結果、発火温度が粒径の増加にともない上昇する傾向を表すことができないことを解明した。これにより、著者は炉装置内の粉じん雲の発火過程の解析理論について検討し、炉装置内を通過する粉じん雲をモデル化し、粉じん粒子と空気との両相について熱、物質収支を考慮して導いた理論式を提唱し、120 μm 以下の粒径では、発火温度と粒径との関係を表現できることを明らかにした。また、発火温度が粒径の増加にともない上昇する原因を考察した。

著者は、数種の農産粉体の熱分解、燃焼実験から、粉体の燃焼反応速度のデータを求めるため、反応速度論的解析を行ない、農産粉体の燃焼の熱重量曲線は、揮発分と残留炭素分の二つの成分の連続する反応によって表されることを示した。また、発火温度が粒径の増加にともない上昇する傾向にあることを確認した。さらに、炉装置内の粉じん雲の発火過程の解析では、理論式を数値計算して、120 μm 以下の粒径では、発火温度と粒径との関係を表現できることを明らかにした。

著者は、粉じんが炉内に数秒間滞留し、昇温速度の影響が少なく、かつ粉じん濃度が薄い粒子群からの伝熱による空気温度の上昇が無視できるような実験装置を試作し、もみがら粉体の発火温度を測定し、22 μm ～115 μm のもみがら粉体の発火温度は、粒径の増加にともない下降することを明らかにした。また酸素濃度6%～12%の範囲では、発火温度は酸素濃度の増加にともない下降することを明らかにし、これらの傾向はStevensonらが導いた単一粒子に関する理論式により表現できることを明らかにした。著者による以上の本研究は、農産粉じんの爆発性に対し、基礎的な新しい知見を得たものであり、ほとんど研究が進められていないこの分野に対する貢献は高く、今後粉じん火災・爆発の防止計画にも大きな役割をはたす研究であるといえる。

よって、著者は農学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。