論文

フライアッシュをケイ酸原料とする 緩効性ケイ酸カリ肥料の製造*

山田 勝利¹ 野田 良男² 石橋 一二³
Rungthip Chaiwattananone⁴ Romanie Wungdheethum⁴
Borisut Suttisonk⁴ Permsuk Mata⁴

Studies on the Slow-Release Type Potassium Silicate Fertilizer from Fly Ash

by Katsutoshi YAMADA¹, Yoshio NODA¹, Katsuji ISHIBASHI¹, Rungthip CHAIWATTANANONE²,
Romanie WUNG DHEETHUM², Borisut SUTTISONK² and Permsuk MATA²

1. Hokkaido National Industrial Research Institute, Toyohira-ku, Hokkaido 062

2. Thailand Institute of Scientific and Technological Research

Using two kinds of fly ash samples, production test of the slow-release type potassium silicate fertilizer at 800 ~ 950 °C for 10 ~ 40 minutes in air with potassium carbonate, calcium hydroxide and magnesium carbonate was conducted. From the experiment we obtained following results:

- 1) The solubility of SiO₂ in 0.5 mol·dm⁻³ HCl solution ranges from 53 to 92 % and the solubility of K₂O in 2 % citric acid ranges from 60 to 75 % depending on the calcination condition.
- 2) By heat treatment at 950 °C for 20 minute, the silicate compounds clearly changed to K₂Al₂Si₂O₈ (or K₂(Al, Fe)₂Si₂O₈), K₂MgSiO₄ and α'-Ca₂SiO₄. These compounds are soluble in 0.5 mol·dm⁻³ HCl and 2 % citric acid.
- 3) The addition of a suitable amount of K₂CO₃ and MgCO₃ was favorable for the increase of the solubility of SiO₂ in 0.5 mol·dm⁻³ HCl solution and the solubility of K₂O in 2 % citric acid.

KEY WORDS: Slow Release Type Fertilizer, Potassium Silicate, Fly Ash

1. はじめに

メモ (Mae Moh) 火力発電所 (ランバン州) は、総出力 2,025 MW (1991 年) でタイ国の総発電量の約 25 % を占める。発電用燃料は自国のメモ褐炭を使用し、石炭の年間使用量は 1,600 万 t/年である。燃焼灰の総排出量は約 480 万 t/年、その内フライアッシュが約 80 % の 380 万 t を占めている。

これら大量の燃焼灰は一部分が造成、埋立に利用されているのみで、大部分は石炭採掘後に埋め戻されているのが現状である。フライアッシュの有効利用法には緩効性ケイ酸カリ肥料、セメント混和材、建材等がある。

緩効性ケイ酸カリ肥料¹⁾ は我が国が 1978 年に世界で初めて開発したもので、現在商業化されている²⁾。しかし、発電所から排出される種々のフライアッシュの肥料化に関する研究や特許もあり^{3) - 10)}、その他、数多くの研究例をとっても一様に肥料化するのは難しく、その製造法が確立されているとはいえない。その理由は、使用炭の種類、火力発電所の運転条件等によって、フライアッシュの化学組成および物理的性質に大きな差異があり、あるいは、貯蔵条件によって化学組成が変質するためと考える。

本研究は、上記火力発電所から排出するフライアッシュの緩効性ケイ酸カリ肥料製造の焼成条件、添加物の効果を検討した。

2. メモ火力発電所のフライアッシュ

採取した 8 種類のフライアッシュの化学組成を Table 1 に示す。化学組成の分析方法は蛍光 X 線によるファンダメンタルパラメーター法 (FP 法) を用いた。蛍光 X 線は島津製作所製 SXF-1200 型、X 線管 DEG-76 H, Rn, X 線パワー 40 kW - 70 mA で測定した。主成分は SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, Na₂O, SO₃ で、他に TiO₂, MnO, P₂O₅, BaO 等の微量成分が含まれる。成分的には SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ の含有量に大きな差異が認められる。この理由は、選炭技術によるものと考えられるが、はっきりとしたことは分らない。また、SO₃ 含有量が約 5 ~ 30 % と日米の ~ 4 % に比べて非常に高い。ガラス質成分は多いもので 78 ~ 85 %, 少ないもので 47 ~ 53 % である。ガラス質成分の定量は Ohlberg, Strickler らの X 線回折によるガラス質定量方法によった¹¹⁾。

肥料化製造試験には、肥料化に重要な成分と考えられる SiO₂, CaO, ガラス質 (非晶質) の含有量に差があるフライアッシュ (FA) No. 1 および No. 2 を用いた。

FA No. 1, FA No. 2 の走査電子顕微鏡写真 (日本分光製, JSM-T 20 型) を Fig. 1 に示す。FA No. 1 はほぼ完全な球状をしているものが大部分であるが、FA No. 2 は形状が不整で表面が部分的に溶融した形跡が認められる。

* 1993 年 3 月 31 日受付 12 月 21 日受理

1. 正会員 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所

2. 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所

3. 薬博 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所

4. Thailand Institute of Scientific and Technological Research

キーワード: 緩効性肥料, フライアッシュ, ケイ酸カリウム

Table 1 Chemical composition of fly ash.

Constituents (%)	Fly ash No.							
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
SiO ₂	21.26	46.50	48.60	33.70	40.78	25.90	17.80	25.50
Al ₂ O ₃	12.60	27.00	25.90	17.60	22.50	14.50	6.67	11.40
Fe ₂ O ₃	15.80	10.50	10.30	9.71	10.10	10.70	16.90	20.20
CaO	16.60	4.01	4.21	18.70	7.43	21.70	19.80	13.20
MgO	4.59	2.63	1.70	2.52	3.79	3.59	3.75	5.06
K ₂ O	1.11	2.27	2.26	1.67	2.06	1.41	0.62	1.12
Na ₂ O	2.32	1.04	0.76	0.79	1.20	1.41	2.47	1.99
SO ₃	23.50	4.99	5.03	14.60	10.20	18.90	31.20	20.10
Glass	78 - 85	47 - 53	70 - 73	70 - 75	68 - 70	50 - 55	63 - 70	75 - 80

Fly ash No. 1 Magnification: $\times 1,000$ L 100 μ mL Fly ash No. 2 Magnification: $\times 300$ L 1,000 μ mL

Fig. 1 Scanning electron micrographs of Thai fly ash.

Fig. 2 に両フライアッシュの熱分析 (理学電気製, 8112 RH 型) の減量曲線および示差熱曲線を示す。FA No. 1 の約 700 °C までの約 4 % の減量 (TG) は、フライアッシュ中の残留未燃炭素の燃焼および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の分解によるものである。温度 1,150 °C 以上での減量は、主に CaSO_4 の分解による。FA No. 2 は、温度 1,050 °C 以下では残留未燃炭素および鉱物の分解による減量が認められない。温度 1050 °C 以上での減量は、FA No. 1 の場合と同様に主として CaSO_4 の分解によるものである。

X線回折パターンを Fig. 3 に示す。両フライアッシュに共通して同定できる鉱物は、 $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, α - SiO_2 , CaO , CaSO_4 , Fe_2O_3 である。また、FA No. 2 には CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の鉱物が認められるが、FA No. 1 では認められない。FA No. 1 の回折線 $2\theta = 35 \sim 15^\circ$ は FA No. 2 よりブロードであることから、かなりガラス

Ref. sample: α - Al_2O_3 . Program rate: 10 °C/min,
Atmosphere: air, —: FA No. 1, ---: FA No. 2

Fig. 2 Thermal analysis of Thai fly ash.

1: $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, 2: CaCO_3 , 3: CaSO_4 , 4: α - Fe_2O_3 ,
5: α - SiO_2 , 6: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 7: CaO , 8: Fe_3O_4

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of Thai fly ash.

質成分に富んでいることが分かる。したがって、FA No. 1 の場合は上記の鉱物のかなりの部分がガラス質中に分散して存在しているものと思われる。以上の結果から、FA No. 2 は、FA No. 1 に比べると高温または長時間の熱履歴を受けたものと考えられる。

3. 実験方法

3・1 焼成用試料調整

フライアッシュは、フルイを通して 60 mesh 以下の粒径のものをを使用した。FA No. 1, FA No. 2 の両フライアッシュに、肥料三要素の一つであるカリウム (特級試薬 K_2CO_3 を使用) を K_2O 換

算で 20 % を混合調整し、適性焼成温度、焼成時間を検討するための供試試料とした。さらに、可溶化率、クエン酸溶化率を高める目的で、カルシウム（特級試薬 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を使用）を CaO 換算で 5 ~ 30 %、カリウムを K_2O 換算で 5 ~ 30 % およびマグネシウム（特級試薬 MgCO_3 を使用）を MgO 換算で 2 ~ 15 % の範囲で添加量を変えて調整し、その効果を調べるための供試試料とした。

3・2 焼成試験

上記の混合試料 10 g を直径 5 cm、深さ 1 cm の磁製皿に入れ、あらかじめ設定した所定の温度（800 ~ 950 °C）に保持したシリコン電気炉で、所定の時間（10 ~ 40 分）焼成した。焼成後は直ちに炉から取り出して空気中で冷却した。

3・3 焼成物の溶出試験

焼成物は公定肥料分析法¹²⁾¹³⁾により、粉碎して 60 mesh のフルイを通した試料 1 g に $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 塩酸、2 % クエン酸または水を加え、30 °C で 1 時間振とう（回転数：30 ~ 40 回転/min）して各成分を溶出させた後速やかに常温に戻し、一定量まで水を加えて直ちに乾燥ろ紙でろ過した。次いで塩酸可溶性 SiO_2 （可溶化率）（%）を求めるために $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 塩酸で溶出したろ液をイオンクロマトグラフ装置（ダイオネックス製 2020 i 型）で測定した。また 2 % クエン酸および水で溶出したろ液を原子吸光度計（日立製作所製、170-30 型）で測定し、 K_2O クエン酸溶出率（ク溶化率）（%）および K_2O 水溶出率（%）とした。

3・4 焼成物の生成鉱物の同定

X 線回折装置（理学電気製ガイガーフレックス）を用いて、焼成物および $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 塩酸、2 % クエン酸溶出の残渣物の回折線を測定し、焼成物中の鉱物の同定と酸溶出試験結果との関係を推察した。

4. 結果と考察

4・1 焼成温度と可溶化率およびク溶化率の関係

K_2CO_3 を K_2O 換算で 20 % 混合して調整した FA No. 1 (K_2O : 22.11 %, CaO : 11.60 %), FA No. 2 (K_2O : 22.27 %, CaO : 4.01 %) の焼成温度と可溶化率およびク溶化率の関係を Fig. 4 に示す。

可溶化率、ク溶化率は、FA No. 1, FA No. 2 とともに焼成温度が高くなると微増し、水溶性カリウム（%）は低くなる。FA No. 1 の場合、焼成温度 950 °C、焼成時間 20 分の条件で可溶化率は 92 %, ク溶化率は 75 %, 水溶性カリウムは 14 % で、FA No. 2 の場合の

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2, calcination time: 20 min

Fig. 4 Change of SiO_2 and K_2O solubility by calcination.

可溶化率は 53 %, ク溶化率は 60 %, 水溶性カリウムは 39 % である。

4・2 焼成時間と可溶化率およびク溶化率の関係

両フライアッシュの焼成物の焼成時間と可溶化率およびク溶化率の関係は、Fig. 5 に示すように 10 ~ 40 分の範囲ではほとんど差がないので、以後の焼成試験はすべて 20 分で行った。

4・3 生成鉱物とその溶解性

焼成反応によって生成する各種鉱物の X 線回折を Fig. 6 に示す。焼成物の主要な鉱物の最強ピークは、 $2\theta = 28.55^\circ$, $2\theta = 33.3^\circ$ およ

Fig. 5 Change of SiO_2 and K_2O solubility by calcination

1: $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ or $\text{K}_2(\text{Al, Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8$, 2: K_2MgSiO_4 , 3: α' - Ca_2SiO_4 , 4: $\text{K}_2\text{MgSi}_3\text{O}_8$, 5: $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$, 6: K_2CaSiO_4 , 7: α - Fe_2O_3

Fig. 6 X-ray diffraction pattern of the calcined products with varying calcination temperature.

1: $K_2MgSi_3O_8$, 2: $K_2Al_2Si_4O_{12}$, 3: $Al_6Si_2O_{13}$, 4: $Ca_2Al_2O_3$, 5: α - SiO_2 , 6: α - Fe_2O_3
 Fig. 7 X-ray diffraction pattern of the $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl and 2% citric acid insoluble residue of the products obtained at 950°C - 20 min.

び $2\theta = 32.9^\circ$ に認められそれぞれ, $K_2Al_2Si_2O_8$ (あるいは Al_2O_3 の一部を Fe_2O_3 が置換した $K_2(Al, Fe)_2Si_2O_8$ が生成している可能性がある。しかし, この鉱物は $K_2Al_2Si_2O_8$ の X 線回折線とほとんど重なるために同定が不可能である), α' - Ca_2SiO_4 , K_2MgSiO_4 に一致する。これら鉱物の回折線強度は焼成温度が高いほど明瞭となる。その他に生成する鉱物として, 回折線強度が強い $K_2MgSi_3O_8$ (28.45°), $Ca_2MgSi_2O_7$ (31.1°), K_2CaSiO_4 (31.6°), $Ca_2Al_2SiO_7$ (31.4°) が認められる。

$0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 塩酸, 2% クエン酸溶出残渣物の X 線回折を Fig. 7 に示す。酸溶出残渣物には, 未反応の α - SiO_2 , α - Fe_2O_3 ,

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2,
 ○, ●: $K_2Al_2Si_2O_8$, △, ▲: α' - Ca_2SiO_4 , □, ■: K_2MgSiO_4
 Fig. 8 Formation of various compounds by calcination.

$Al_6Si_2O_{13}$ の他に焼成反応で生成した $K_2MgSi_3O_8$, $K_2Al_2Si_4O_{12}$, $Ca_2Al_2O_3$ が認められる。Fig. 6 と比較すると, これらの鉱物は酸に難溶あるいは不溶性である。しかし, FA No.1, FA No.2 の酸溶出残渣物の回折線を比較すると, $K_2MgSi_3O_8$ は $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 塩酸にはかなり溶ける鉱物と考えられる。

主な酸溶解性生成鉱物の回折強度と焼成温度との関係を Fig. 8 に示す。 $K_2Al_2Si_2O_8$, α' - Ca_2SiO_4 は焼成温度が高くなるとともに回折強度が強くなり, $K_2Al_2Si_2O_8$ は特に FA No. 1 の場合に顕著である。これは結晶性の SiO_2 , $Al_2Si_2O_{13}$ に比べて, ガラス質中に反応性の高い 2 鉱物が多く含まれているためと考えられる。また, K_2MgSiO_4 の回折強度は, 両フライアッシュともにほとんど変化が認められなかった。

以上の結果から, 焼成温度 $800 \sim 950^\circ\text{C}$ におけるフライアッシュと添加した K_2CO_3 との反応は, 種々の成分系で起こっている。しかし, ケイ酸を含む可溶性鉱物の主な生成反応は, K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 の 3 成分系, K_2O - MgO - SiO_2 の 3 成分系および CaO - SiO_2 の 2 成分系である。一方, カリウムを含む可溶性鉱物の主な生成反応は K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 の 3 成分系, K_2O - MgO - SiO_2 の 3 成分系である。カリウムおよびカルシウムを含む生成鉱物としては K_2CaSiO_4 が認められるが, Fig. 6 と Fig. 7 から判断するとこの鉱物は溶出試験に用いた酸には溶解しないと推察される。したがって, カリウムを含む可溶性鉱物の生成反応にはカルシウムがほとんど関与していないと考えられる。

4・4 カルシウム添加の効果

可溶化率および可溶化率を高める目的で, カルシウム添加の効果を検討した。両フライアッシュに K_2CO_3 を K_2O 換算で 20% を加え, $Ca(OH)_2$ を CaO 換算で 5~30% まで変えて調整した各混合物を 950°C , 20 分の条件で焼成し, その結果を Fig. 9 に示す。

FA No. 2 焼成物の可溶化率と可溶化率, FA No. 1 焼成物の可溶化率は CaO 添加量が増すと増加し, 添加量 30% では約 10% 向上した。しかし, FA No. 1 の可溶化率に対してはカルシウム添加の効果が高い。これは, その可溶化率が 92% に達しているため, 未反応の SiO_2 量が少ないためであろう。また, フライアッシュ中の Al_2O_3 , MgO の含有量にも関係している。FA No. 2 の水溶性カリウム (%) は, カルシウム添加量が増すと減少するが, さらに増すと反対に水溶性カリウム (%) が増加する。FA No. 1 の場合も同様に, カルシウム添加量が約 15% 以上では微増する。これら

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2, calcination temperature: 950°C , calcination time: 20 min

Fig. 9 Effect of the addition of CaO (%) added on the SiO_2 and K_2O solubility.

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2, calcination temperature: 950 °C, calcination time: 20 min

Fig. 10 Effect of the addition of K_2O (%) added on the SiO_2 and K_2O solubility.

の詳細な原因については今後の検討課題とした。

4・5 カリウム添加の効果

カルシウム添加の場合と同様の目的で、カリウム添加の効果を検討した。両フライアッシュに K_2CO_3 を K_2O 換算で 5～30 % まで変化させて混合し、950 °C、20 分の条件で焼成した。その結果を Fig. 10 に示す。

両フライアッシュの可溶化率は、カリウム添加の効果が認められるが、ク溶化率に対してはその効果が低い。また、水溶性カリウムは、添加量が増すとともに高くなる。この理由は明らかでないが、水溶性カリウムすなわち未反応のカリウムが多く残っていることから推測すると、カリウムを含む可溶性鉱物の生成に必要な MgO の絶対量あるいはフライアッシュ中の MgO および Al_2O_3 の存在形態による反応性に関係していると考えられる。したがって、 SiO_2 、 K_2CO_3 に対して MgO 、 Al_2O_3 の含有量が少ないフライアッシュの場合には、 MgO 、 Al_2O_3 を添加して $K_2Al_2Si_2O_8$ 、 K_2MgSiO_4 を多く生成させてク溶化率を高め、反対に水溶性カリウム (%) を低くさせることが可能と思われる。

以上、カルシウム、カリウム添加の効果および酸溶解性生成物の X 線回折 (Fig. 8) の結果から推察すると、FA No. 1 の主反応は、カルシウムが関与しない $K_2Al_2Si_2O_8$ と K_2MgSiO_4 が生成する反応である。また、カルシウム添加実験で、FA No. 1 の水溶性カリウム (%) の増加量 (Fig. 9) が FA No. 2 より低いのは、主にカリウムが関与する上記の反応であることと一致している。一方、FA No. 2 は、カリウムが反応に関与しないケイ酸塩鉱物である α' - Ca_2SiO_4 、 $Ca_2MgSi_2O_7$ 、 $Ca_2Al_2SiO_7$ 、 $Ca_2MgSi_2O_7$ が多く生成する反応である。したがって、FA No. 2 のク溶化率が低く、反対に水溶性カリウム (%) が高い理由は、上記の鉱物の生成に SiO_2 の多くが消費されるためにカリウムと反応する SiO_2 が少なくなり、フライアッシュのガラス質中に存在する未反応の K_2CO_3 の量が増えるためであろう。これは、フライアッシュ中に含有するケイ酸、アルミニウム、カルシウムの存在形態とその含有量による反応性の違いと考えられる。

4・6 マグネシウム添加の効果

$MgCO_3$ を用いて MgO 換算で ~15 % まで変化させて混合し、950 °C、20 分の条件で焼成した。その溶出試験結果を Fig. 11 および主な酸溶解性生成物の X 線回折強度を Fig. 12 に示す。

FA No. 1 の可溶化率はマグネシウム添加の効果がほとんど認め

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2, calcination temperature: 950 °C, calcination time: 20 min

Fig. 11 Effect of the addition of MgO (%) added on the SiO_2 and K_2O solubility.

○, △, □: FA No. 1, ●, ▲, ■: FA No. 2, ○, ●: $K_2Al_2Si_2O_8$, △, ▲: K_2MgSiO_4 , □, ■: α' - Ca_2SiO_4

Fig. 12 Formation of various compounds by calcination.

られないが、FA No. 2 では添加量 15 % で約 78 % に達した。ク溶化率はマグネシウム添加量が増すと増加し、添加量 15 % で FA No. 1 の場合に 87 %、FA No. 2 の場合に 71 % に達した。水溶性カリウム (%) は、マグネシウム添加量 15 % で FA No. 1 の場合に 6 % および FA No. 2 の場合に 17 % に減少し、マグネシウム添加の効果が大きいことが判明した。この結果は Fig. 12 に示すように $K_2Al_2Si_2O_8$ と α' - Ca_2SiO_4 の回折線強度が弱くなっているに対して、 K_2MgSiO_4 の回折強度が強くなっていることと一致する。すなわち、 $K_2Al_2Si_2O_8$ と α' - Ca_2SiO_4 の生成量が減少するために、添加したマグネシウムと未反応の SiO_2 、 K_2CO_3 が反応して K_2MgSiO_4 の生成量が増加するためである。

以上、緩効性ケイ酸カリ肥料製造に関する焼成条件や添加物の効果について検討した結果について述べたが、緩効性ケイ酸カリ肥料

製造の重要な主目的は植物に対して不可給態であるフライアッシュ中の SiO_2 を可給態にして植物が吸収しやすくすることと、水に溶けやすく溶脱、流亡性 (3～10 %) の通常のカリ肥料 (塩化カリウム、硫酸カリウム) を水に難溶性で雨水、灌水による溶脱、流亡をできるだけ少なく、性状を安定にして肥効に持続性を持たせることにある。したがって、水溶性カリウム (%) が反対に高くなる焼成条件、原料の配合条件は好ましくないといわれている。

実験結果を総括すると、FA No. 1 タイプが肥料化しやすいといえる。しかし、ク溶化率をより高めるには化学成分として FA No. 2 と同程度の SiO_2 、 Al_2O_3 含有量であることが望ましい。また、マグネシウムを添加することによって水溶性カリウム (%) を低くしク溶化率を高めることができる。

5. ま と め

タイのメモ火力発電所から排出する性状の異なる 2 種類のフライアッシュを試料として肥料化について検討した結果、以下の知見が得られた。

1) カルシウム含有量 (CaO : 16.60 %), ガラス質成分 (78～85 %) が多い FA No.1 は、可溶化率が 92 %, ク溶化率が 75 % に達した。しかし、カルシウム含有量 (CaO : 4.01 %) とガラス質成分 (47～53 %) が少ない FA No.2 では、可溶化率が 53 %, ク溶化率が 60 % であった。

2) 可溶性、ク溶性を示す主な生成鉱物は、 $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 、 α' - Ca_2SiO_4 および K_2MgSiO_4 である。

3) カルシウム含有量が少ない FA No. 2 の場合は、カルシウムを添加して水溶性カリウム (%) を低くさせることができる。しか

し、 CaO が約 22 % 以上では反対に高くなる。

4) カリウム添加は、両フライアッシュともに可溶化率を向上させるが、添加量を増すほど水溶性カリウム (%) が高くなる。

5) 水溶性カリウム (%) を低くするには、マグネシウムを添加するのが有効である。

6) 今後、得られた知見を基に緩効性ケイ酸カリ肥料の品質をさらに向上させるために、フライアッシュの性状や生成鉱物の性質および添加物の効果を考慮して、原料の配合と焼成の最適条件を検討する予定である。

引 用 文 献

- 1) 山田勝利：北海道産情報，Vol. 42,7, p. 48-49, (1987)
- 2) Characteristics and Fertilizing Effects of Potassium Silicate, Nov., (1978), Potassium Silicate Fertilizer Research Association
- 3) 武田昭平・鶴沼英郎・佐山惣吾・伊藤三郎：北海道工業開発試験所報告；Vol. 37, p. 26-29, (1985)
- 4) 佐山惣吾・鶴沼英郎・武田昭平・伊藤三郎：北海道工業開発試験所報告；37号, p. 30-34, (1985)
- 5) 本間専治他：特許 - 1057768, 登録；昭和 56 年 7 月 31 日
- 6) 山田勝利他：特許 - 1250824, 登録；昭和 60 年 2 月 14 日
- 7) 安藤淳平・中島順司：日本土壌肥料学雑誌，第 56 巻第 2 号，p. 105-109, (1985)
- 8) 安藤淳平・鶴沢正美・大塚良広：日化，No. 12, p. 2286-2292, (1987)
- 9) 瀬川弘他：特許 - 1612973, 登録；平成 3 年 8 月 23 日
- 10) 角田昌彦他：特許 - 1626084, 登録；平成 3 年 11 月 18 日
- 11) Ohlberg, S. M. and Stricker, D. M.: J. Am. Ceramic. Soc, Vol. 45, p. 170-171, (1962)
- 12) 越野正義編著：詳解肥料分析法，p. 109-170, 養賢堂（東京）(1988)
- 13) Official Methods of Analysis of Fertilizers, p. 8-25 Dec. 1987. The National Institute of Agro-Environmental Sciences, Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries