



Title	石炭灰の溶融性に関する研究
Author(s)	深沢, 正一; Fukazawa, Shoichi; 谷口, 博 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 53, 95-113
Issue Date	1969-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40947
Type	departmental bulletin paper
File Information	53_95-114.pdf



石炭灰の溶融性に関する研究

深沢正一* 谷口 博**

小林雅晴* 山根清隆*

(昭和43年11月30日受理)

A Study on the Melting Characteristics of the Coal Ash

Shoichi FUKAZAWA, Hiroshi TANIGUCHI, Masaharu KOBAYASHI
and Kiyotaka YAMANE

(Received November 30, 1968)

Abstract

The melting characteristics of coal ash is a very important factor in the design and operation of the coal fired furnaces. It is known that coal ash consists of many kinds of mineral components, and it is difficult to predict the melting characteristics of the coal ash from its chemical composition.

In this study, using a Leitz heating microscope, the melting characteristics of the coal ash samples were measured by means of JIS (M 8801) or DIN (51730). The experimental results by the above two methods showed identical values. It was found that the melting characteristics of artificial ashes, which had the same composition as the coal ashes, were approximately equal to those of the coal ashes. From the above mentioned results, artificial ashes may be used as models of the coal ashes. We attempted to express the relationships between the melting points and chemical compositions of the ashes by an empirical formula. The calculated results by this formula agreed well with the experimental values for the coal or artificial ashes.

1. ま え が き

石炭を燃料とするボイラの運転に際して起こるトラブルとしては、クリンカーの生成、溶灰の壁面への付着、バードネストの発生など、石炭灰の溶融性に関する問題が多い。また、一般乾式微粉炭燃焼方式のときの炉内熱負荷の許容限界値は灰の溶融性により定まり、湿式微粉炭燃焼方式では灰の溶融性が炉内温度の下限を決定することになる。このため、いずれの場合も石炭を燃料として使用するときには、あらかじめ灰の溶融性を知ることが重要とされている。

本研究は、このような観点から石炭灰の溶融性を研究しようとするものである。

* 機械工学科 燃焼工学講座

** 機械工学科 熱機関学第一講座

石炭灰の溶融性については、従来すでに数多くの研究が発表されているが^{1),2),3)}、石炭灰は種々の無機成分の混合物であり、その成分から溶融性を算定することはきわめて難しい。

本研究では、灰の溶融性の測定法について JIS 法と DIN 法の比較を行ない、北海道産の石炭灰の溶融性（軟化点、溶融点、流動点）を両方法により測定した。また、石炭灰の組成を分析し、それに相当する組成成分を混合して作成した合成灰をとりあげ、これと石炭灰の溶融性の比較を行ない、両者の測定値がほぼ合致することを確めた。Teune の式、酸性度の式は石炭灰の組成から溶融性を推定する式として発表されているが、これらの式による推定値と測定値の間には相当差異があることがわかった。ゆえに石炭灰の組成成分と溶融性の関係をさらに詳しく検討し、新たな実験式を作成することを試みることにした。すなわち、石炭灰をモデルとして組成割合を変えた合成灰を作成し、その溶融性の測定結果より溶融性への影響が大きいと思われる成分をとりあげて、これらの成分割合から溶融性を推定する実験式を作成した。この実験式は一見複雑に思われるが、電子計算機によると簡単に計算値が得られ、その精度についても多少の例外を除いては測定値とよく合うので、溶融性推定実験式として実用的価値があると思われる。

以上は主として酸化性雰囲気について行なった実験結果を取りまとめたが、一般に還元性雰囲気では溶融性が変わる（溶融点が下る）ことが知られているので、還元性雰囲気における測定も行ない、酸化性雰囲気の測定結果と比較対照した結果を記載した。

2. 溶融性の測定法および測定装置

石炭灰の作成は、JIS M 8812（石炭の工業分析、灰分定量方法）に準じ次の通りとした。石炭を 250 μ 以下に粉砕し、ウラグスリ付磁製皿に入れる。通気筒のついた電気炉に挿入して通風を十分行ないながら、約 60 分で 500°C、その後 30~60 分で 800°C まで昇温させ、その後 60 分間 800 \pm 10°C にて保持して完全に灰化させる。

石炭灰の溶融性は種々の方法で測定されているが、本研究では DIN (51730)、JIS (M 8801) による方法を選び、ライツ高温加熱顕微鏡を使用して測定を行なった。図-1 に測定装置の概要

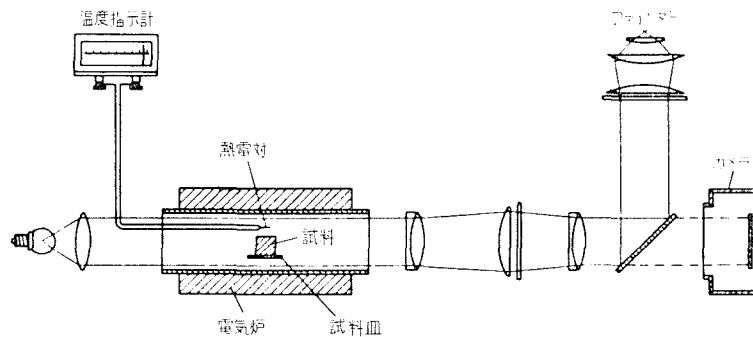
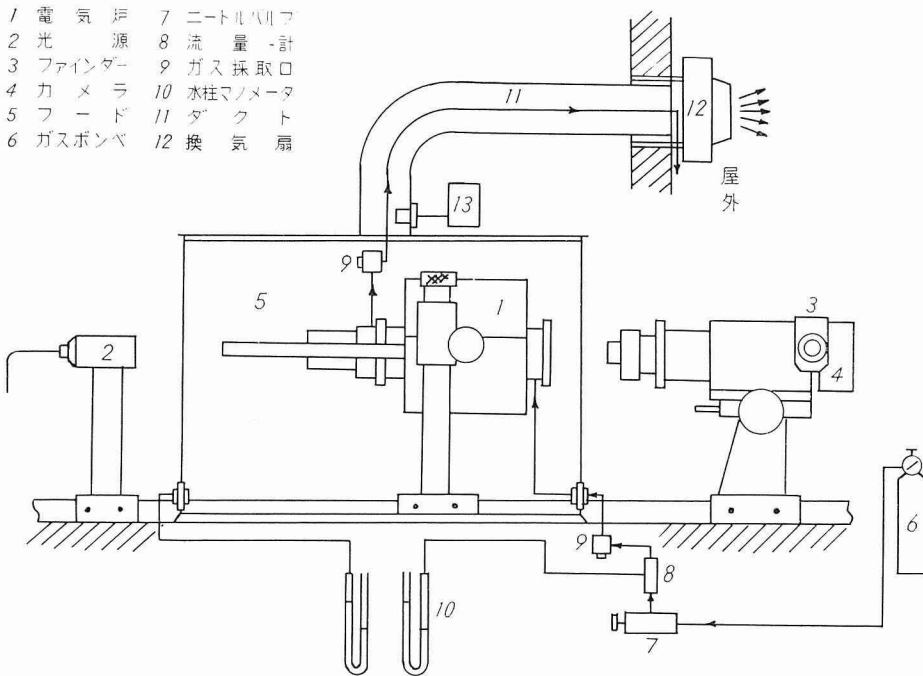


図-1 測定装置概要



- 1 電気炉
- 2 光源
- 3 ファインダー
- 4 カメラ
- 5 フード
- 6 ガスボンベ
- 7 ニートルバルブ
- 8 流量計
- 9 ガス採取口
- 10 水柱マンメータ
- 11 ダクト
- 12 換気扇

図-2 測定装置

を 図-2 に 実 際 の 測 定 装 置 を 示 す 。 還 元 性 雰 囲 気 の 実 験 に お いて ガ ス を 使 用 す る 場 合 を 考 慮 し て 、 フ ード で 炉 全 体 を 遮 へ い し 安 全 性 を 確 保 し た 。

2.1 DIN (51730) による測定法

石炭灰試料をメノウ鉢にて粉碎し、蒸留水を加えて円柱試料（高さ 3 mm，直径 3 mm）に成形する。この場合成形圧を約 0.15 kg/mm² と一定にするため、スプリング付成形棒を使用する。

熱電対保護管の先端に皿をのせ、試片をこの皿の上に置いて電気炉に挿入する。電気炉雰囲気は酸化性雰囲気（空気）、弱還元性雰囲気（CO：CO₂=2：1）、還元性雰囲気（CO）の3種が規定されている。電気炉は60分にて900～1000℃，その後5～10℃/minの割合で昇温させ、拡大装置により観察しながら試片の形状の変化する状態および炉内温度を同時に写真撮影する。撮影された写真から図-3のように軟化点（形状に変化が認められる温度）、溶融点（半球状

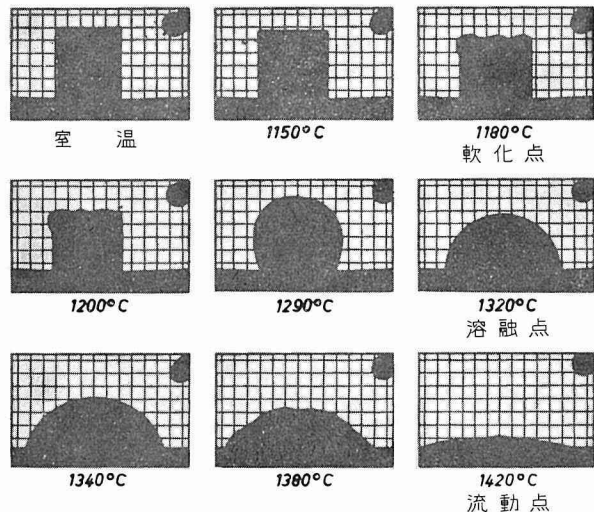


図-3 溶融性判定例

となる温度，半球点)，流動点(1目盛の高さになる温度)に相当するものを選び各温度を求める。

2.2 JIS (M 8801) による測定法

石炭灰試料をメノウ鉢に粉碎し，蒸留水を加えて三角スイ試片(高さ8 mm，底辺2.7 mm，2.7 mm，3 mm)に成形する。DIN法の場合と同様，スプリング付成形棒を使用して成形圧を一定とする。熱電対保護管の先端に皿をのせ，試片をこの皿の上に立てて900°C以下に保った電気炉に徐々に挿入する。その後5°C/minの割合で昇温し，拡大装置により観察しながら試片の形状の変化する状態および炉内温度を同時に撮影し，軟化点(三角スイの頂上の形が変化し

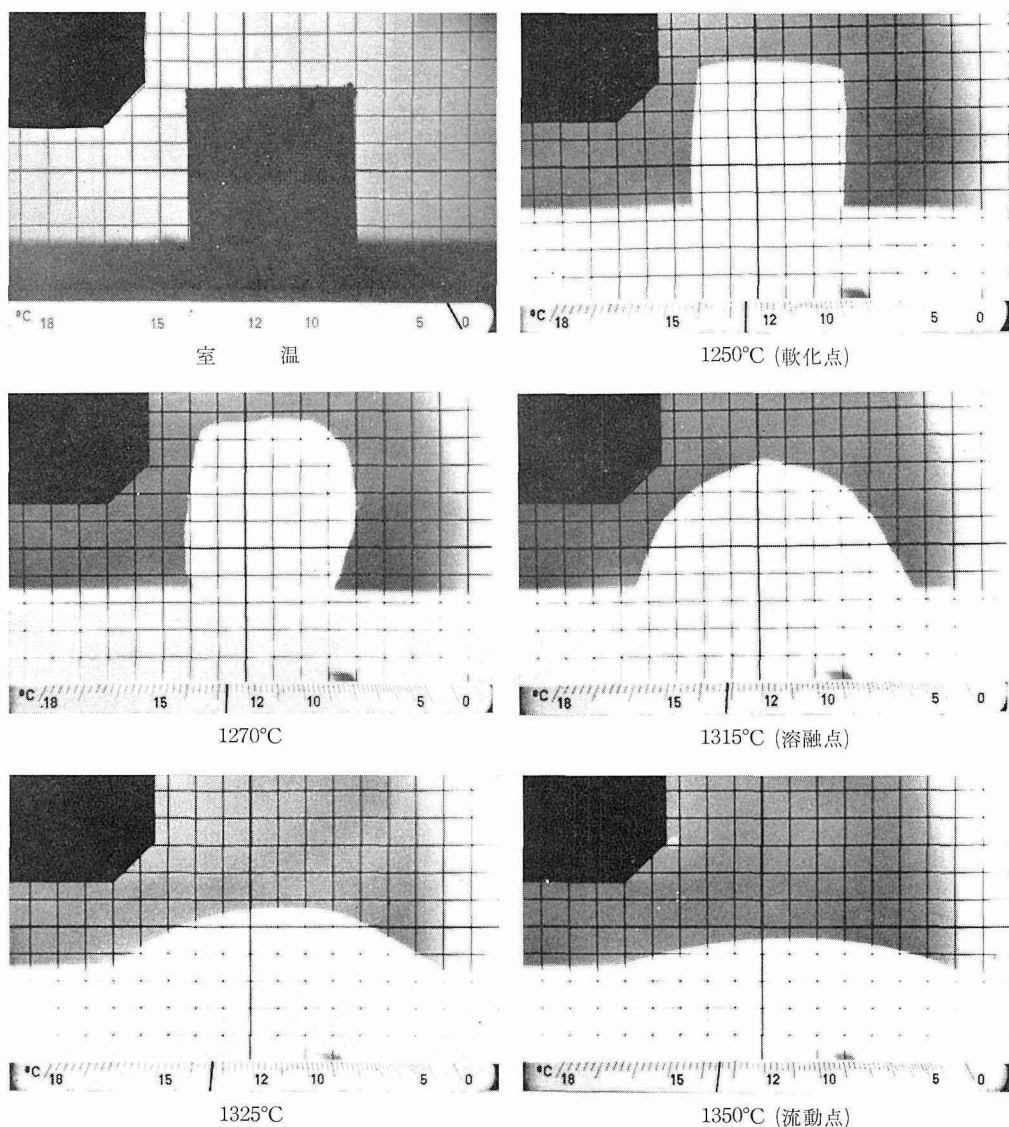


図-4 DIN法による測定例(砂川細粉)

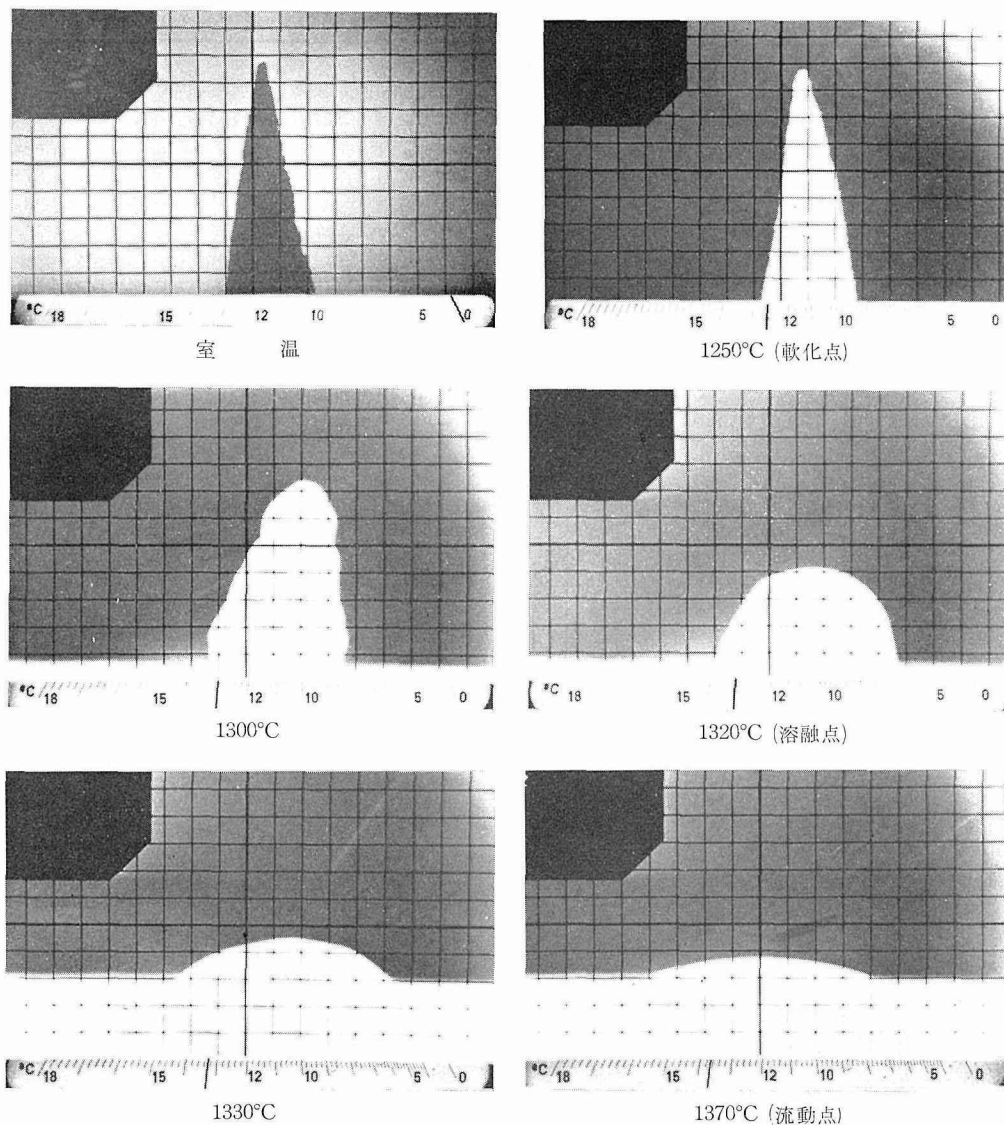


図-5 JIS法による測定例 (砂川細粉)

始めたとき), 溶融点 (半球状となるときの), 流動点 (DINと同じ) を求める。雰囲気は DIN と同じ条件とする。

図-4, 図-5 は DIN および JIS による方法を適用した溶融性測定結果の一例である。

3. 石炭灰の酸化性雰囲気における溶融性

3.1 北海道産石炭および灰の分析値

15種の北海道産石炭の発熱量 (JIS M 8814による), 工業分析 (JIS M 8812) および石炭灰組成割合 (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3) の測定結果を表-1に示す。な

表-1 北海道産石炭、灰の分析値、灰の

			発熱量 (高位) (kcal/kg)	工業分析				灰		
				水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
1	奈井江	細粉	4920	3.71	33.22	29.67	33.40	59.35	26.63	4.52
2	井内	細粉	5390	3.52	28.69	30.46	37.33	59.99	25.35	4.87
3	志間	細粉	5940	2.41	25.17	31.81	40.91	58.90	23.85	5.49
4	赤瀬	城平	4980	5.01	31.36	27.68	35.92	61.42	25.74	5.11
5	新赤	並粉	5100	2.03	35.74	27.87	37.24	56.60	27.58	7.09
6	砂川	細粉	6150	2.41	21.68	34.27	41.64	57.37	24.31	5.09
7	雄別	二粉	6210	2.58	31.53	29.99	35.90	61.21	25.58	4.34
8	三省	一等	6110	2.74	33.77	28.04	35.45	59.13	26.04	5.15
9	豊里	別粉	5200	2.50	35.13	27.44	34.93	61.74	23.21	6.07
10	赤平	特細	6260	2.52	22.49	33.48	41.51	56.75	22.62	6.54
11	赤平	塊	6880	2.18	15.54	36.69	45.59	54.03	25.26	4.53
12	歌志	内特	5420	2.40	32.49	29.16	35.95	59.01	23.88	6.70
13	幌	塊	7380	3.81	6.22	43.77	46.20	45.76	17.19	11.90
14	幌	塊	5410	12.56	12.31	36.43	38.61	45.24	26.59	4.44
15	太平	洋塊	6580	6.18	10.41	43.62	39.79	45.02	27.33	5.85
16	奈井江	細粉	5525	2.57	29.42	33.45	34.56	58.83	27.63	6.42
17	井江	細粉	5003	3.45	18.00	29.40	35.69	55.56	26.76	7.51
18	唐川	細粉	6842	5.49	5.49	46.83	40.43	50.06	34.53	5.37
19	砂川	細粉	5557	3.49	26.35	33.07	37.09	57.77	27.88	6.82
20	砂川	細粉	5225	2.11	32.84	30.35	34.70	58.73	24.15	5.34
21	雄別	上粉	6290	3.42	18.50	42.90	35.20	50.30	29.58	4.90
22	雄別	洗粉	6620	3.98	13.80	43.40	38.80	49.91	27.76	5.77
23	雄別	A粉	4900	5.61	27.35	34.10	32.94	51.41	23.76	10.35
24	赤平	特粉	5722	2.90	25.90	33.72	37.48	58.37	25.63	4.97
25	赤平	平粉	5803	2.61	27.02	32.30	38.07	56.50	21.94	8.33
26	歌志	内特	5613	1.74	33.61	29.64	35.01	59.80	27.95	4.95
27	歌志	内粉	5562	1.62	31.32	31.42	35.64	58.27	27.16	4.57
28	歌志	内粉	5332	2.12	27.02	29.38	36.03	58.06	25.33	6.28
29	歌志	内粉	6970	3.28	10.06	41.85	44.81	49.00	26.44	5.17
30	新羽	幌粉	5301	11.16	11.16	37.24	38.67	45.70	25.45	4.75
31	太平	洋特	6680	5.26	9.80	47.20	40.70	42.37	27.23	6.29
32	太平	洋洗	6320	5.85	14.10	43.10	37.00	49.37	29.46	5.09
33	太平	洋粉	6530	6.08	11.60	45.10	37.20	46.34	27.45	6.15
34	太平	洋選	5285	6.30	22.50	37.80	33.40	52.67	27.07	5.11
35	太空	知別	5746	2.84	25.54	33.45	38.17	57.04	25.38	6.54
36	茂尻	並粉	5602	1.93	28.28	26.67	43.12	56.40	26.82	6.34
37	茂尻	粉	6600	2.60	8.40	35.40	44.00	53.50	25.54	7.74
38	雨竜	別粉	5339	4.27	26.80	28.23	40.70	58.00	25.50	4.95
39	昭和	別粉	5337	3.59	27.57	30.71	38.13	90.00	25.45	5.55
40	尺別	洗粉	6440	7.45	60.30	38.40	43.90	49.66	25.50	7.98
41	尺別	号洗	5120	6.80	60.30	33.00	34.70	50.01	21.33	8.65
42	尺別	微洗	5330	6.83	25.50	33.60	36.60	51.59	20.72	7.88
43	明治	本洗	5930	5.64	23.00	41.00	35.20	55.18	26.36	4.54
44	夕張	並粉	7664	1.86	18.20	42.24	48.52	47.11	28.48	5.62
45	夕張	並粉	6550	1.40	7.38	33.30	43.80	60.52	19.92	6.46
46	平和	別粉	5690	1.10	21.50	33.00	36.90	55.32	21.33	5.79
47	平和	格粉	3560	1.90	28.70	23.10	22.60	63.54	21.15	5.73
48	清水	沢並	5550	1.30	52.40	31.70	35.10	57.26	22.68	5.56
49	清水	沢粉	4060	2.20	31.90	26.60	26.10	55.66	19.47	5.45
50	清光	三微	4890	1.90	45.10	29.70	32.20	55.64	24.26	5.10
51	神威	二中	7100	1.86	36.20	38.00	46.30	46.21	29.87	5.81
52	穂別	未選	6820	6.60	13.90	41.20	43.80	54.42	14.13	14.19
53	美唄	特粉	6990	2.78	9.78	42.53	44.91	39.56	30.24	5.17
54	美奔	別粉	7298	3.00	8.13	45.75	43.12	51.11	25.21	9.78

(註) 備考欄に 4) または 5) と記載した例は文献 4), 5) に発表されている分析値, 測定値

溶融性測定値および K_1 , K_2 計算値

成 分					灰 溶 融 性			灰の溶融を表わす指数		備 考
CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	軟化点 (°C)	溶融点 (°C)	流動点 (°C)	K ₁	K ₂	
3.76	1.97	0.46	1.46	1.22	1330	1470	1530	8.39	0.912	
3.79	1.77	0.83	1.74	1.01	1260	1410	1490	8.52	0.908	
3.91	2.00	0.81	2.06	2.44	1250	1390	1440	7.26	0.898	
2.14	1.95	0.53	1.50	1.00	1340	1520	1560	9.47	0.923	
3.53	1.88	0.41	1.53	1.45	1290	1430	1470	6.73	0.888	
7.84	1.37	0.58	1.58	1.98	1250	1310	1350	5.71	0.863	
3.33	1.60	1.06	1.65	1.30	1300	1480	1500	9.36	0.919	
3.69	1.78	0.52	1.85	1.11	1320	1440	1510	8.02	0.906	
2.60	2.83	1.12	2.00	0.87	1230	1400	1490	7.66	0.907	
4.19	2.46	1.46	1.62	3.99	1180	1280	1340	6.01	0.874	
7.03	2.81	0.42	1.48	4.00	1200	1380	1420	5.52	0.873	
2.60	2.29	0.86	1.56	3.31	1250	1420	1460	7.15	0.899	
14.58	4.67	0.83	0.37	3.43	1170	1200	1300	2.02	0.704	
13.30	1.48	2.86	0.66	5.09	1160	1270	1340	3.74	0.926	
14.53	2.90	1.14	0.19	2.97	1220	1310	1350	3.11	0.780	
2.85	1.52	—	—	1.12	1320	1403	1450	7.94	0.903	4)
4.59	0.91	—	—	—	1325	1510	1560	6.16	0.872	5)
7.95	1.37	—	—	—	1200	1300	1330	5.76	0.864	5)
3.31	1.54	—	—	1.31	1310	1400	1440	7.34	0.894	4)
7.37	1.06	—	—	—	1325	1457	1530	6.04	0.868	4)
7.21	2.99	—	—	—	1280	1350	1460	5.29	0.868	5)
8.22	3.20	—	—	—	1250	1280	1380	4.52	0.847	5)
5.32	1.62	—	—	—	—	1260	1285	4.35	0.827	5)
4.96	1.04	—	—	2.35	1250	1294	1335	7.66	0.894	4)
6.94	0.83	—	—	—	1300	1378	1500	4.87	0.837	4)
2.52	1.56	—	—	1.72	1350	1430	1400	9.72	0.922	4)
2.83	2.19	—	—	1.22	1300	1386	1455	8.91	0.920	4)
4.27	0.80	—	—	—	1350	1498	1590	7.28	0.887	4)
8.60	5.39	—	—	—	—	1240	1260	3.94	0.846	5)
10.41	0.72	—	—	—	1268	1294	1366	4.48	0.824	5)
12.13	3.72	—	—	—	1260	1290	1340	3.14	0.791	5)
7.72	2.69	—	—	—	1300	1325	1440	5.09	0.860	5)
9.94	3.02	—	—	—	1265	1300	1380	3.86	0.821	5)
8.65	1.61	—	—	—	1300	1350	1450	5.19	0.853	5)
5.07	1.69	—	—	2.7	1220	1260	1305	6.20	0.877	4)
6.03	1.72	—	—	0.2	1258	1304	1393	5.91	0.871	4)
6.27	1.93	—	—	—	1250	1330	1440	4.96	0.849	5)
1.53	2.17	—	—	2.14	1439	1495	1536	9.56	0.928	4)
2.62	2.26	—	—	0.78	1406	1443	1492	8.19	0.913	4)
8.49	2.94	—	—	—	1210	1260	1355	3.87	0.820	5)
7.41	2.36	—	—	—	1170	1239	1375	3.87	0.816	5)
11.63	2.55	—	—	—	1195	1230	1355	3.28	0.788	5)
6.61	2.16	—	—	—	1275	1315	1460	6.13	0.880	5)
13.18	2.73	—	—	—	1150	1314	1230	3.52	0.801	5)
6.44	2.40	—	—	—	1265	1343	1500	5.26	0.862	5)
11.09	4.24	—	—	—	1250	1292	1360	3.63	0.820	5)
4.89	1.28	—	—	—	1330	1430	1505	7.12	0.889	5)
8.88	1.92	—	—	—	1300	1375	1475	4.89	0.847	5)
11.09	2.87	—	—	—	1270	1350	1440	3.68	0.811	5)
7.98	2.24	—	—	—	1228	1265	1390	5.22	0.589	5)
7.76	1.59	—	—	—	1262	1300	1410	5.02	0.849	5)
11.64	0.62	—	—	—	1170	1365	1370	2.59	0.726	5)
17.27	0.78	—	—	—	—	1375	1405	5.98	0.757	5)
4.63	2.05	—	—	—	—	1430	1470	4.64	0.841	5)

お、北海道産石炭について行なわれた既発表値^{4),5)}もこれに付記する。

3.2 DIN 法および JIS 法による溶融性測定結果

表-1 に示した 15 種の石炭灰について、DIN 法および JIS 法により測定した結果を表-2 に示す。この結果より DIN 法および JIS 法による測定値を比較するとつぎの通りとなる。

軟化点 JIS 法による測定値は一般に DIN 法より高い値 (約 30°C) を示すようである。測定に際しては JIS 法の三角スイの先端が必ずしも同じ形に成形できないが、DIN 法の円柱は同じ形に成形しやすくて判別する場合の個人差を少なくすることができるように思われる。

溶融点 DIN 法、JIS 法ともに半球状となるときと定められており、比較的判別が容易である。DIN 法、JIS 法による測定値は同じ値 (大部分約 10°C の誤差内) を示している。

流動点 DIN 法、JIS 法による測定値はほぼ同じ値 (約 30°C の誤差内) を示す。

表-2 DIN および JIS による溶融性測定結果の比較

		軟化点 (°C)			溶融点 (°C)			流動点 (°C)		
		DIN	JIS	差	DIN	JIS	差	DIN	JIS	差
1	奈井江細粉	1330	1350	-20	1470	1460	10	1530	1500	30
2	茶志内細粉	1260	1260	0	1410	1390	20	1490	1490	30
3	赤間特細粉	1250	1260	-10	1360	1330	30	1440	1390	50
4	頼城粉	1340	1360	-20	1520	1510	10	1560	1560	0
5	新赤平並粉	1250	1290	0	1430	1400	30	1470	1470	0
6	砂川細粉	1250	1250	0	1310	1320	-10	1350	1370	-20
7	雄別茂尻二等粉	1300	1310	-10	1480	1470	10	1500	1520	-20
8	三省一等粉	1320	1310	10	1400	1440	0	1510	1530	-20
9	豊里別粉	1230	1250	-20	1400	1370	30	1490	1500	-10
10	赤平特細粉	1180	1220	-40	1280	1270	10	1340	1330	-10
11	赤平塊	1200	1250	-50	1380	1370	10	1420	1410	10
12	歌志内特細粉	1250	1270	-20	1420	1410	10	1460	1490	-30
13	幌内塊	1170	1200	-30	1200	1210	-10	1300	1280	20
14	羽幌塊	1160	1180	-20	1270	1300	-30	1340	1340	0
15	太平洋塊	1220	1240	-20	1310	1310	0	1350	1340	10

3.3 測定精度および昇温速度の影響

溶融性の測定精度としては、溶融点についてのみ規定されており、DIN 法では $\pm 10^\circ\text{C}$ 、JIS 法では測定相互間で 20°C 以内とされている。表-3 は DIN 法による溶融性測定結果の再現性を調べたもので、溶融点は 20°C 以内の誤差であり、軟化点、流動点に関する再現性も比較的良い。

昇温速度が測定値におよぼす影響を DIN 法の場合について調べた結果を表-4 に示す。これより、 $6\sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ の範囲内では昇温速度が溶融性にほとんど影響をおよぼさない。

表一3 溶融性測定結果の再現性

DIN による測定値			軟化点 (°C)	溶融点 (°C)	流動点 (°C)
1	奈井江細粉	1回目	1330	1470	1530
		2回目	1320	1470	1540
		3回目	1320	1480	—
2	茶志内細粉	1回目	1260	1410	1490
		2回目	1280	1400	1490
3	赤間特細粉	1回目	1250	1360	1440
		2回目	1260	1350	1400
8	三省一等粉	1回目	1320	1440	1510
		2回目	1310	1460	1510
9	豊里別粉	1回目	1230	1400	1490
		2回目	1240	1390	1490

表一4 溶融性に対する昇温速度の影響

DIN による測定値		軟化点 (°C)	溶融点 (°C)	流動点 (°C)
三省一等粉	6°C/min	1320	1440	1510
三省一等粉	10°C/min	1310	1450	1510

以上の結果より、DIN 法および JIS 法による灰の溶融性測定には本質的な相違はなく、取り扱い上からは DIN 法による方が適当であると思われるので、本研究は DIN 法により測定を進めることとした。

4. 石炭灰の組成と溶融性

4.1 合成灰の溶融性

石炭灰（以下自然灰と称す）の組成と溶融性の関係を解明するため、石炭灰を構成している主な成分を混合して作成した試料（以下合成灰と称す）により、組成と溶融性の関係を検討することとした。合成灰の作成に使用した単体成分は SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 NaOH 、 KOH 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の 8 成分であり、 NaOH 、 KOH は酸化されると Na_2O 、 K_2O となり、硫黄は CaSO_4 の形で含有されるものと仮定した。したがってあらかじめ Na_2O 、 K_2O 、 SO_3 を NaOH 、 KOH 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ に換算して合成灰を作成した。

北海道産石炭の自然灰と同じ組成で上記のようにして作成した合成灰（石炭灰の作成と同様に $800 \pm 10^\circ\text{C}$ にて 60 分間保持し焼成する）とを比較してみると、前者は薄茶色で後者は濃茶紫色と一見相当異なっているように見えるが、その溶融性は表-5 に示すように多少の差はあ

表-5 自然灰および合成灰の溶融性の比較

		軟 化 点 (°C)			溶 融 点 (°C)			流 動 点 (°C)		
		自然灰	合成灰	差	自然灰	合成灰	差	自然灰	合成灰	差
1	奈井江細粉	1330	1310	20	1470	1400	70	1530	1470	60
2	茶志内細粉	1260	1230	30	1410	1370	40	1490	1520	-30
3	赤間特細粉	1250	1250	0	1360	1530	170	1460	1550	-90
4	頼城粉	1340	1270	70	1520	1510	10	1570	1540	30
5	新赤平並粉	1290	1270	20	1430	1390	40	1470	1540	-70
6	砂川細粉	1250	1210	40	1310	1320	-10	1350	1400	-50
7	雄別茂尻二等粉	1300	1250	50	1480	1500	-20	1500	1560	-60
8	三省一等粉	1320	1250	70	1440	1460	-20	1510	1510	0
9	豊里別粉	1230	1240	-10	1400	1440	-40	1490	1490	0
10	赤平特細粉	1180	1180	0	1280	1280	0	1340	1390	-50
11	赤平塊	1220	1190	30	1380	1330	50	1420	1400	20
12	歌志内特細粉	1250	1250	0	1420	1440	-20	1460	1500	-40
13	幌内塊	1170	1190	-20	1200	1230	-30	1300	1330	-30
14	羽幌塊	1160	1150	10	1270	1400	-130	1340	1450	-110
15	太平洋塊	1220	1230	-10	1310	1370	-60	1350	1440	-90

るが比較的良く合う傾向を有している。したがって石炭灰の溶融性を研究するモデルとして、この合成灰を使用して研究を進めることとした。

4.2 組成と溶融性

石炭の成分のうちでも特に含有量の多いものは SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO の4つの成分であり、前述の石炭灰を例にとってみるとこれら4つの成分で95%程度を占めていることがわかる。表-6は主な単体成分の溶融性測定結果であり、 Al_2O_3 については1600°C程度では試料形状には全く変化が見られず溶融点がかかなり高いと思われる。この測定結果を参照すると、灰の溶融点は SiO_2 , Al_2O_3 の成分割合の増加と共に上昇し、逆に Fe_2O_3 , CaO の増加と共に低下すると考えられる。しかし、これら4成分の溶融性は石炭灰の溶融性に比べるとずっと高温側にあるので、実際の灰の中では個々の成分が結合し溶融性を低温側に移行させていると考えられる。

表-6 単体成分の溶融性測定結果

	軟化点 (°C)	溶融点 (°C)	流動点 (°C)
SiO_2	1650	1740	—
Fe_2O_3	1570	1605	1630
CaO	1360	1470	1600

まず、石炭灰の40~60%を占める SiO_2 に対する他の成分の溶融性への影響を調べてみることにした。 SiO_2 を80%として Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO のいずれかを20%混合した2成分の合成灰について測定したところ、 Fe_2O_3 , CaO を加えた場合は1600°C前後でやっと軟化の徴候が見られる程度であり、 Al_2O_3 , MgO を加えた合成灰では1600°Cを越えても変化がなく、これら4成分は単独では SiO_2 に対する影響は少ないようである。

表-7, 表-8, 表-9は石炭灰の微量成分である Na_2O , K_2O , SO_3 の SiO_2 に対する影響を調

表-7 SiO₂-Na₂O 系合成灰の溶融性

	重 量 (%)		軟 化 点 (°C)	溶 融 点 (°C)	流 動 点 (°C)
	SiO ₂	Na ₂ O			
1	95	5	1580	1590	1620
2	90	10	820	1455	1520
3	85	15	820	1060	1410
4	80	20	820	910	1220

表-8 SiO₂-Na₂O-K₂O 系合成灰の溶融性

	重 量 (%)			軟 化 点 (°C)	溶 融 点 (°C)	流 動 点 (°C)
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O			
1	95	2.5	2.5	1540	1590	1630
2	90	5.0	5.0	1000	1510	1580
3	85	7.5	7.5	800	1020	1400
4	80	10.0	10.0	660	950	1240

表-9 SiO₂-CaO-Na₂O 系と SiO₂-CaO-SO₃ 系合成灰の溶融性の比較

	重 量 割 合 (%)				軟 化 点 (°C)	溶 融 点 (°C)	流 動 点 (°C)	備 考
	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	SO ₃				
1	90.00	4.12	5.88	—	1565	1575	1600以上	
2	80.00	8.24	11.76	—	830	990	1400	
3	90.00	4.12	—	5.88	1600以上	—	—	
4	80.00	8.24	—	11.76	1600以上	—	—	
5	95.62	4.38	—	—	1600以上	—	—	3でSO ₃ を除く
6	90.66	9.34	—	—	1600以上	—	—	4でSO ₃ を除く

べた結果である。Na₂Oを混合した場合は溶融性は大きく変化するが、石炭灰に含まれるNa₂Oの割合は0.5~3%程度であり、Na₂Oを5%混合した試料の溶融性が石炭灰より高温側にあることから、実際の灰におけるNa₂Oの影響はそれほど顕著ではないと考えられる。また、Na₂O、K₂Oは化学的性質も似ており、これら2成分のSiO₂への影響度は表-8に示すごとくほぼ同じである。SO₃はNa₂OよりSiO₂の溶融性に対する影響はずっと少ない。

また、一般に石炭灰の溶融点を下げるに利用されているCaOもSiO₂に対して単独の影響は少ないようであるので、灰の成分中SiO₂について多いAl₂O₃あるいはFe₂O₃を加えた3成分の合成灰で溶融性を調べてみることにした。表-10にその測定結果を示す。SiO₂+Fe₂O₃に対するCaOの影響は少ないようであるが、SiO₂+Al₂O₃にCaOを加えた場合は溶融性がかなり低温側に移行している。

石炭灰の溶融性を組成から推定しようとする試みはいくつかあるが、現在用いられている代表的なものにTeuneの式(1)、酸性度の式(2)がある。

$$K_1 = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO}} \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}} \quad (2)$$

ただし、各成分の分子式は石炭灰中の重量割合を表わす。

表-10 SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-CaO 系合成灰の溶融性

	重 量 割 合 (%)				軟 化 点 (°C)	溶 融 点 (°C)	流 動 点 (°C)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO			
1	80	10	—	10	1500	1565	1625
2	80	—	10	10	1590	1600以上	—
3	70	10	10	10	1280	1385	1450
4	67.5	12.5	10	10	1300	1390	1500
5	65	15	10	10	1280	1385	1450
6	60	20	10	10	1265	1355	1430
7	55	25	10	10	1300	1360	1420
8	50	30	10	10	1310	1390	1450
9	45	35	10	10	1360	1400	1460

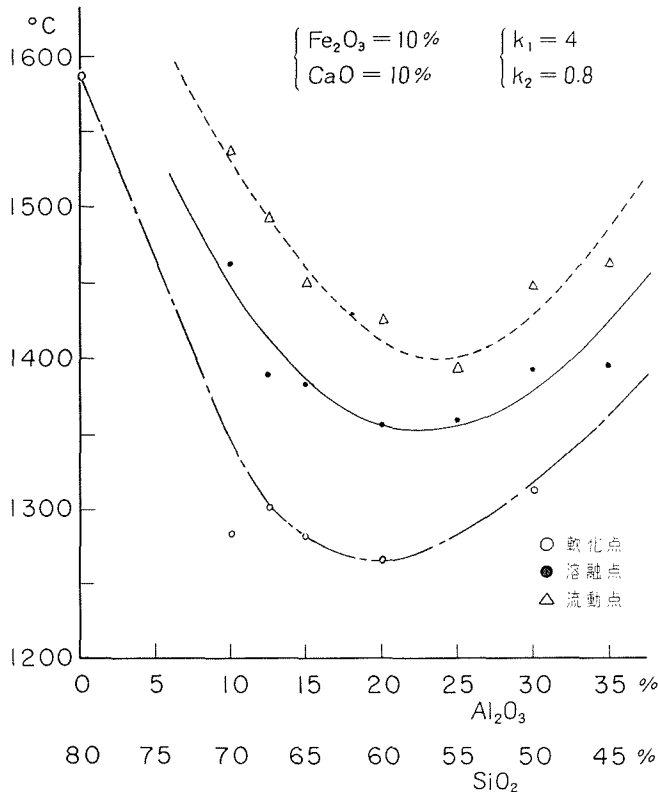


図-6 SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-CaO 系合成灰の溶融性

これらの式において、 Al_2O_3 は溶融性に関して SiO_2 と同様な働きをすると見なされている。ところが SiO_2 に CaO を加えた場合に比べて、 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ に CaO を加えた場合の方が溶融性に大きく影響することから、 Al_2O_3 を SiO_2 と同一視することには問題があると思われる。このことについて詳しく調べるために、各成分のうち MgO を除いた4成分について $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10\%$ 、 $\text{CaO} = 10\%$ を一定とし、 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 80\%$ として SiO_2 と Al_2O_3 の割合を変えた場合の溶融性を調べてみたところ、図-6 に示す結果となった。すなわち Teune の式、酸性度の式による値はそれぞれ $K_1 = 4$ 、 $K_2 = 0.8$ で一定であるが、このように SiO_2 、 Al_2O_3 の割合を変えると溶融性に大きな変化が現われてくる。ゆえに、 K_1 、 K_2 によって石炭灰の溶融性を推定することは検討する余地があると思われる。

4.3 溶融性を推定する実験式

石炭灰の溶融性を推定する従来の式は前述のごとく不十分である。そこで組成割合を系統的に変えた合成灰を作成し、その溶融性の測定結果から灰の溶融性を推定する実験式を作成することを試みた。

測定に用いた合成灰は北海道産石炭の灰をモデルとして組成範囲を定め、石炭灰の主成分である SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、 SO_3 を対象とし作成した。 K_2O は溶融性に関しては Na_2O と同様の作用をすると考えられるので Na_2O におきかえ、7成分の配合割合を表-11のごとく系統的に変えて混合し焼成した。ここでは灰の溶融性のうちでも特に判別の容易な溶融点をとりあげることにし、合成灰の組成および溶融点測定結果を表-11に示す。石炭灰の主な成分の単体の溶融点は、表-6に示すごとく、石炭灰の溶融点に比べてはるかに高いが、実際の灰の中では各成分が相互に作用して溶融点を低下させていると考えられる。

溶融点を推定する成分として SiO_2 について多く含まれる Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO と、微量成分ではあるが溶融性への影響が大きい Na_2O の4成分に注目し、式(3)のごとき関数形で溶融点を表わすことにした。

$$T = f(x_1) \cdot f(x_2) \cdot f(x_3) \cdot f(x_4) \quad (3)$$

ただし T : 溶融点 ($^{\circ}\text{C}$)
 x_1 : Al_2O_3 の重量割合
 x_2 : Fe_2O_3 の重量割合
 x_3 : CaO の重量割合
 x_4 : Na_2O の重量割合
 x_5 : その他 $x_5 = 1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)$

図-7 a～図-7 d は合成灰の溶融点と Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O の含有割合との関係を調べたものである。それぞれ1つの成分のみに注目すると、各成分相互の影響も潜在しているのでばらつきが大きい。が、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO それぞれ単独の影響を2次関数、 Na_2O の影響を1次関数で表わすことができると仮定した。したがって各成分の関数形を

表-11 合成灰の組成, 融点および K_1, K_2 の計算値

	組 成 割 合 (%)							融 点 (°C)		溶 融 性 を 推 定 する 指 数		備 考
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	測定値	計算値	K ₁	K ₂	
1	47.41	27.58	7.78	7.98	3.01	3.12	3.12	1340	1330	3.99	0.826	SiO ₂ , SO ₃ の割合を一定とし, 他の5成分の割合を変える。
2	54.23	17.19	8.90	9.11	3.43	3.57	3.57	1290	1261	3.33	0.798	
3	46.46	29.72	11.91	7.20	2.71	2.82	2.82	1335	1311	3.32	0.791	
4	42.82	32.35	4.44	7.81	2.94	3.05	3.05	1360	1348	5.18	0.865	
5	46.46	28.88	6.83	14.58	2.63	2.74	2.74	1405	1416	2.93	0.767	
6	41.60	33.08	7.82	2.14	3.02	3.14	3.14	1520	1478	6.22	0.890	
7	47.66	30.67	7.25	7.43	4.67	2.90	2.90	1340	1334	3.86	0.836	
8	45.71	31.73	7.50	7.69	1.37	3.00	3.00	1340	1330	4.67	0.863	
9	44.76	31.07	7.35	7.53	2.83	3.52	2.94	1355	1337	4.28	0.863	
10	45.84	31.82	7.52	7.71	2.90	1.20	3.01	1325	1319	4.28	0.863	
11	61.74	17.70	4.18	11.42	1.60	1.68	1.68	1345	1296	4.61	0.836	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ の割合を変化し, 他の5成分の割合は一定とする。
12	45.02	25.43	6.00	16.42	2.31	2.41	2.41	1385	1429	2.84	0.759	
13	54.74	17.19	5.70	15.60	2.19	2.29	2.29	1305	1308	3.06	0.772	
14	51.54	22.74	5.37	14.68	1.37	2.15	2.15	1370	1340	3.46	0.787	
15	50.46	22.26	5.26	14.37	2.02	3.52	2.11	1340	1335	3.35	0.787	
16	61.74	23.92	5.65	1.98	2.17	2.27	2.27	1485	1476	11.23	0.918	
17	45.02	34.38	8.12	2.84	3.12	3.26	3.26	1380	1425	5.63	0.879	
18	65.49	17.19	6.82	2.39	2.63	2.74	2.74	1380	1378	6.98	0.900	
19	59.22	26.13	6.18	2.16	1.37	2.47	2.47	1525	1487	8.79	0.911	
20	57.99	25.59	6.04	2.12	2.33	3.52	2.41	1485	1497	7.97	0.911	
21	61.74	20.56	4.86	4.98	3.96	1.94	1.94	1310	1341	5.97	0.893	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO の割合を変化する。
22	45.02	29.55	6.99	7.16	5.70	2.79	2.79	1335	1337	3.76	0.841	
23	60.02	17.19	6.26	6.42	5.10	2.50	2.50	1300	1304	4.36	0.859	
24	49.83	21.99	5.20	14.58	4.24	2.08	2.08	1325	1332	2.99	0.784	
25	55.53	24.50	5.79	5.94	4.72	1.20	1.20	1310	1313	4.87	0.873	
26	65.34	17.19	5.44	5.58	2.09	2.18	2.18	1320	1319	6.30	0.884	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ CaO の割合を変化する。
27	57.33	20.20	11.91	4.90	1.84	1.91	1.91	1300	1292	4.16	0.822	
28	63.78	22.47	5.31	2.14	2.04	2.13	2.13	1450	1454	9.10	0.921	
29	47.70	21.05	10.78	14.58	1.91	1.99	1.99	1320	1308	2.52	0.731	Al ₂ O ₃ , CaO の割合を変化する
30	56.86	17.19	12.85	6.07	2.76	2.37	2.37	1265	1274	3.51	0.796	
31	45.02	33.10	6.79	6.97	2.62	2.72	2.72	1315	1344	4.77	0.850	
32	56.76	15.72	5.92	14.58	2.28	2.37	2.37	1245	1279	3.18	0.779	
33	55.67	19.61	4.63	14.58	1.79	1.86	1.86	1295	1329	3.68	0.797	SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ の割合を変化する
34	49.21	25.01	5.12	14.58	1.98	2.05	2.05	1400	1356	3.52	0.790	
35	52.89	26.88	5.51	5.65	4.67	2.20	2.20	1300	1356	5.03	0.877	MgO の割合を変化する。
36	54.72	27.81	5.70	5.84	1.37	2.28	2.28	1300	1356	6.39	0.878	

	組成割合 (%)							溶融点 (°C)		溶融性を推定する指数		備考
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	測定値	計算値	K ₁	K ₂	
37	61.74	17.33	6.52	6.68	2.51	2.61	2.61	1310	1300	5.03	0.857	SiO ₂ の割合を 変化する。
38	45.02	24.90	9.37	9.60	3.61	3.75	3.75	1340	1340	3.10	0.787	
39	65.02	18.02	6.79	2.14	2.61	2.71	2.71	1365	1394	7.20	0.903	CaO, MgO の 割合を変化する
40	62.75	17.39	6.54	6.19	1.37	2.62	2.62	1320	1300	5.53	0.858	
41	45.02	27.02	13.84	6.55	2.45	2.56	2.56	1315	1322	3.15	0.778	SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , CaO の割合を 変化する。
42	59.59	26.29	4.62	2.14	2.38	2.47	2.49	1535	1511	9.39	0.925	
43	45.02	31.92	7.54	7.79	1.74	3.02	3.02	1345	1330	5.16	0.839	
44	59.20	26.12	6.17	2.14	1.43	2.47	2.47	1485	1488	8.77	0.911	
45	45.02	30.41	7.19	7.38	2.76	4.36	2.88	1345	1349	4.36	0.840	
46	52.03	22.95	11.91	5.56	2.09	3.29	2.17	1310	1346	3.83	0.793	
47	50.52	22.29	5.27	14.58	2.03	3.20	2.11	1340	1339	3.32	0.785	
48	57.89	25.53	6.03	2.14	2.33	3.66	2.42	1500	1498	7.99	0.910	
49	45.02	32.11	7.59	7.78	2.93	1.53	3.04	1335	1320	4.21	0.834	Fe ₂ O ₃ , Na ₂ O の 割合を変化する
50	25.02	32.37	5.70	7.85	2.94	3.06	3.06	1345	1341	4.71	0.851	
51	51.82	22.87	5.40	14.58	2.08	1.09	2.16	1335	1326	3.38	0.788	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, Na ₂ O の 割合を変化する
52	59.36	26.19	6.19	2.14	2.39	1.25	2.48	1475	1480	8.03	0.911	
53	54.65	24.11	12.35	2.14	2.19	2.28	2.28	1400	1367	4.72	0.844	
54	49.72	27.58	11.24	5.31	1.99	2.08	2.08	1305	1348	4.23	0.824	
55	59.38	26.20	6.19	2.17	2.38	1.20	2.48	1495	1479	8.81	0.912	

$$\left. \begin{aligned} f(x_1) &= a + bx_1 + cx_1^2 \\ f(x_2) &= d + ex_2 + fx_2^2 \\ f(x_3) &= g + hx_3 + ix_3^2 \\ f(x_4) &= j + kx_4 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで $a \sim k$ は未知定数である。

とおいて式(3)に代入すると式(5)が得られる。

$$T = (a + bx_1 + cx_1^2)(d + ex_2 + fx_2^2)(g + hx_3 + ix_3^2)(j + kx_4) \quad (5)$$

式(5)を展開し、微小項を省略し整理すると式(6)のようになる。

$$\begin{aligned} T = & A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4 + A_5x_1^2 + A_6x_1x_2 \\ & + A_7x_1x_3 + A_8x_1x_4 + A_9x_2^2 + A_{10}x_2x_3 + A_{11}x_2x_4 + A_{13}x_3x_4 \\ & + A_{14}x_1x_2x_3 + A_{15}x_1x_2^2 + A_{16}x_1x_3x_4 + A_{17}x_1x_3^2 + A_{18}x_1^2x_2 \\ & + A_{19}x_1^2x_3 + A_{20}x_1^2x_4 + A_{21}x_2x_3^2 \end{aligned} \quad (6)$$

上式で $A_0 \sim A_{21}$ は未知定数である。表-11 に示す 55 種の合成灰の組成割合と溶融点の測定結

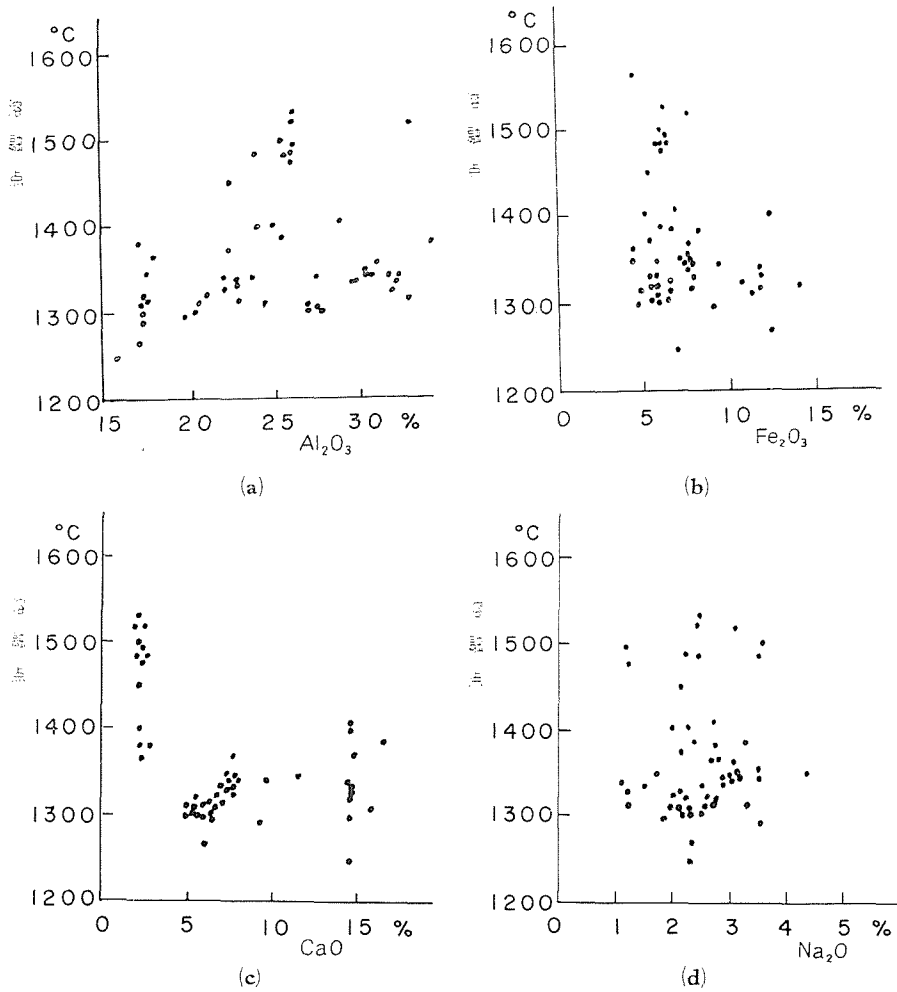


図-7 溶融点と各成分含有量 (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O) の関係

果を用いて、この未知定数をデジタル電子計算機により計算した。その結果はつぎの通りである。

$$\begin{array}{ll}
 A_0 = 1.816434 \times 10^3 & A_1 = -3.927485 \times 10^3 \\
 A_2 = -1.631384 \times 10^4 & A_3 = 5.558478 \times 10^3 \\
 A_4 = 7.067861 \times 10^3 & A_5 = 1.404642 \times 10^4 \\
 A_6 = 8.273970 \times 10^4 & A_7 = -6.983691 \times 10^4 \\
 A_8 = 6.985989 \times 10^4 & A_9 = 1.208348 \times 10^4 \\
 A_{10} = 1.171239 \times 10^5 & A_{11} = -7.376844 \times 10^5 \\
 A_{12} = 1.208350 \times 10^4 & A_{13} = -3.494674 \times 10^5 \\
 A_{14} = -2.132158 \times 10^5 & A_{15} = -9.568831 \times 10^4 \\
 A_{16} = 1.451600 \times 10^6 & A_{17} = 2.060850 \times 10^5 \\
 A_{18} = -1.111014 \times 10^5 & A_{19} = 2.801932 \times 10^4 \\
 A_{20} = -3.633189 \times 10^5 & A_{21} = -3.553340 \times 10^5
 \end{array}$$

以上求められた定数を代入し、式(6)により合成灰の溶融点を組成割合から計算させ表-11に併記した。

図-8は55種の合成灰と15種の自然灰について式(6)を用いて計算した溶融点と実際の測定値とを比較したものである。多少の例外はあるが、式(6)により計算した溶融点が実際に測定した溶融点に近い値を示すことがわかった。現在溶融性を推定するのに用いられているTeuneの式および酸性度の式の値 K_1 、 K_2 と溶融点の測定値との関係はそれぞれ図-9a、図-9bに示す通りで、約150°C

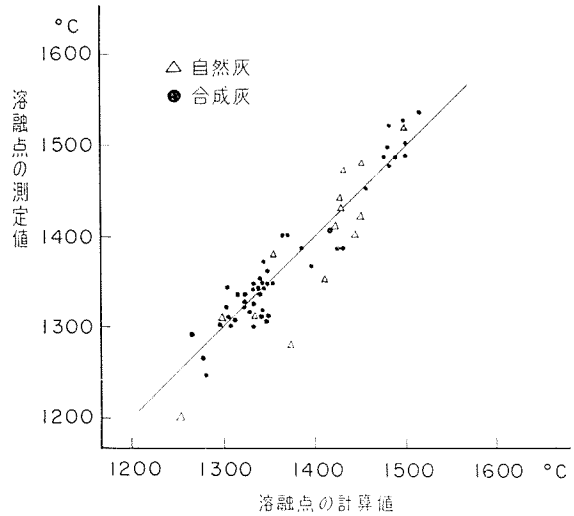


図-8 溶融点の計算値と測定値の比較

のばらつきを示しているのに比べると、本研究で求めた実験式は誤差が少ないことがわかる。上記 K_1 および K_2 はそれぞれ5成分、4成分から溶融性を推定し、式(6)では4成分に注目して溶融性を推定する方法であり、いずれも石炭灰の分析手数は同じ程度と考えられる。しかし、着目する成分の違いと、各成分に対する評価の違いが上記のような結果となったわけであり、このようにして作成した実験式が石炭灰の溶融性を推定するのに有効に利用できると思われる。

本研究では溶融点についてのみ実験式を作成したが、同様の方法で軟化点、流動点についても実験式が得られるものと考えている。

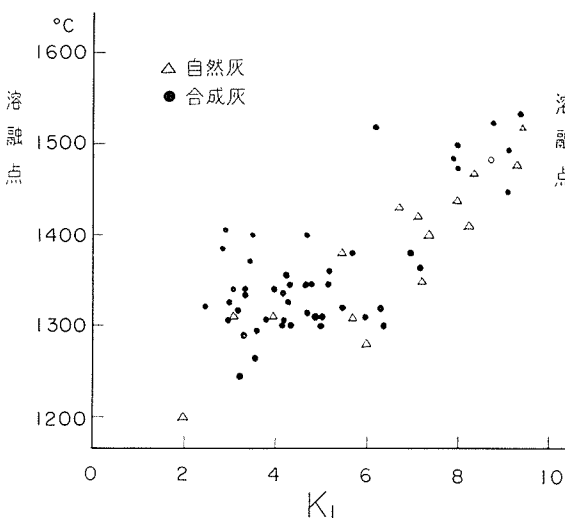


図-9a 溶融点と K_1 の関係

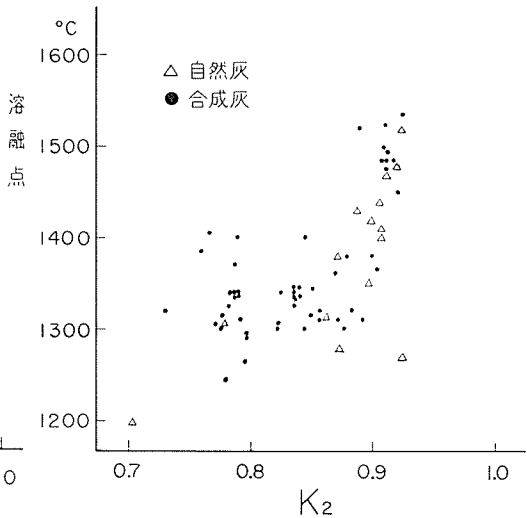


図-9b 溶融点と K_2 の関係

5. 還元性雰囲気における溶融性

実際の燃焼室内での石炭灰の溶融性は実験室内の電気炉中における溶融性とはかなりの相違があると思われる。その原因の一つと考えられる炉中の雰囲気について調べてみることにし、DIN 51730 に基づいて炉中に CO ガスを導入し、還元性雰囲気での溶融性を測定した。表-12 は酸化性雰囲気と還元性雰囲気における石炭灰の溶融性測定結果の比較を示したものである。これより還元性雰囲気での石炭灰の溶融性は酸化性雰囲気に比較して約 50°C 低温側

表-12 酸化性および還元性雰囲気における溶融性の比較

銘 柄		4. 額城粉	9. 豊里別粉	13. 幌内塊	17. 奈井江細粉	20. 砂川細粉	25. 赤平	28. 歌志内	
灰 成 分	SiO ₂ %	61.42	61.74	45.76	55.56	58.73	56.50	58.06	
	Al ₂ O ₃ %	25.75	23.21	17.19	26.76	24.15	21.94	25.33	
	Fe ₂ O ₃ %	5.11	6.07	11.91	7.51	5.34	8.33	6.28	
	CaO %	2.14	2.60	14.58	4.59	7.37	6.94	4.37	
	MgO %	1.95	2.83	4.67	0.91	1.06	0.83	0.80	
	Na ₂ O %	0.53	1.12	0.83	—	—	—	—	
	K ₂ O %	1.50	2.00	0.37	—	—	—	—	
	SO ₃ %	1.00	0.87	3.43	—	—	—	—	
溶 融 性	軟化点 (°C)	酸化	1340	1230	1170	1325	1350	1300	1350
		還元	1285	1170	1140	1300	1325	1272	1331
	溶融点 (°C)	酸化	1520	1400	1200	1510	1495	1378	1498
		還元	1475	1350	1175	1472	1457	1328	1463
	流動点 (°C)	酸化	1570	1490	1300	1560	1580	1500	1590
		還元	1505	1460	1240	1510	1530	1435	1540
備考					4)	4)	4)	4)	

備考欄に 4) と記載した例は文献 4) に発表されている測定値

移行していることがわかる。還元性雰囲気においては、Fe₂O₃ の影響が大きいと云われているが、組成と雰囲気の関係についてはさらに検討したいと考えている。表-12 には他で測定された既発表値も付記してある。

6. む す び

本研究で行なった結果をまとめると、つぎの通りである。

(1) 北海道産の石炭および灰の分析を行ない、DIN および JIS による方法で酸化性雰囲気における石炭灰の溶融性を測定した。その結果、両方法により、ほぼ同じ測定結果が得られたが、測定上 DIN 法による方が判別が容易である。DIN 法による溶融性の測定の再現性は比

較的良く (許容差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ に入る), 規定範囲において昇温速度の影響は少ない。

(2) 石炭灰の主成分 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 を混合し, さらに 1 度焼成した合成灰の溶融性は自然灰に近い値を示す。

(3) 自然灰の組成割合をモデルとして作成した合成灰の溶融性測定結果から, 溶融性の判定に対し最も実用性のあると思われる溶融点と 5 成分 (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , その他 SiO_2 などの成分) との間の実験式を求めた。この式により計算した溶融点は二, 三の例外を除いて実際の測定値に近い値を示している。本研究で作成した実験式は石炭灰の溶融性を推定するのに有効に利用できるものと考えている。

(4) 還元性雰囲気における灰の溶融性は酸化性雰囲気と比較して, 約 50°C 低温側に移行している。

本研究を行なうにあたり, 北海道大学工学部 斎藤武教授より貴重な御助言, 試料石炭の収集に際しては国策パルプ旭川工場 林輝一氏のご御援助を頂き, 計算を行なうに際しては北海道大学計算センター, 東京大学大型計算機センターの協力を頂いた。また, 測定に際しては伊藤俊彦君, 黒岩勲君, 八重樫武久君, 藤原良樹君の協力を得た。ここに深く謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 香坂要三郎ほか: 工業化学雑誌, 37-40 編 (昭 9-10).
- 2) 長井弘ほか: 北海道工試報告, 137-159 号 (昭 29-39).
- 3) 松野栄治: 北海道鉱山学会誌, 19 (昭 39), 4, p. 1-8.
- 4) 林輝一ほか: 火力発電, 14 (昭 38), 7, p. 27-38.
- 5) 金子夏実: 火力発電, 15 (昭 39), 6, p. 39-56.
- 6) W, Gumz: Kurzes Handbuch der Bernstoff und Feuerungstechnik, (1962), p. 164-178.
- 7) 深沢正一・斎藤 武・谷口 博: 火力発電ニュース, 9 (昭 41), 2, p. 1-12.
- 8) 深沢正一ほか: 機械学会北海道支部第 11 回講演会前刷集, (昭 41), p. 93-96.
- 9) 深沢正一ほか: 機械学会創立 70 周年記念北海道地区講演論文集, 174, (昭 42), p. 125-128.
- 10) 深沢正一ほか: 機械学会北海道支部第 12 回講演論文集, (昭 43), p. 265-268.