石炭の着火温度、自然発火所要時間と水分の関係

——坑内石炭の自然発火におよぼす水分の影響（第1報）——

田 代 襄¹ 河 野 信¹
高 桑 功¹

1. ま え が き

水分が石炭の自然発火に与える影響というテーマで多数の報告がなされており、その結論は水分が自然発火を促進するというもの、逆に抑制するというものがあり、また炭種によつて影響が異なるという報告もある¹⁾。

これらの報告は石炭の酸化性と水分の関係を求めることを目的としたもので坑内石炭の自然発火と水分の関係まで論及したものは見当らない。また石炭の自然発火に関する室内実験を行なうさい、試料炭の水分によつて結果がどのように変化するかを明らかにしたものも見当らない。筆者らはこれらの点を明確にするため一連の実験を行なっている、その一部を発表する。

過去の報告にあげられた水の作用を要約すると次の4項目になる。

(1) 空気中の水分が石炭表面に吸着され吸着熱を発生し、石炭の温度を上昇させ自然発火を促進する。

(2) 石炭中の水分は蒸発するとき蒸発熱を奪い、石炭の温度上昇には抑制作用となる。

(3) 水分は酸化反応の初期過程に発生する peroxygen の形成に不可欠であり、石炭の気相酸化反応に触媒作用をもっている。

(4) 石炭中の微細な毛管空隙に凝縮された水分、また石炭表面に付着した水分は表面を覆うことにより空気中の酸素と石炭とが接触するのを妨げ、その結果として酸化反応を抑制する作用となる。

上記4項目についての文献をあげると、吸着熱の影響は坑外貯炭が雨が降った後に自然発火しやすいという経験、また Threlfall によつて1909年に2個の250tバンカーで実験された結果²⁾からも知られている。実験室内で吸着熱による石炭の温度上昇を測定した例としては、Berkowitz ら³⁾、Hodge ら³⁾ その他⁴⁾の報告がある。

水分の触媒作用については、Jones ら⁵⁾が石炭の気相酸化反応の初期には peroxygen が形成され、このために水分が必要であり、真空中1,000°Cで完全に水分を失

なつた炭素は酸素を吸収しても peroxygen を形成しないという理由から、石炭の酸化反応には水分が不可欠であると発表している。この他物理的な熱測定の結果をもつてこの作用を論じた Hodge ら³⁾の報告、あるいは乾燥した石炭より水分を含んでいる石炭の方が酸素消費量が多いという Graham の報告⁷⁾、石炭中の固有水分および付加水分の合計が5%のとき着火温度が最も低いことから、石炭の自然発火に最適な水分は4~6%であるという Nandy ら⁸⁾の報告等がみられる。

蒸発熱の影響のため酸化による温度上昇が抑制されるという報告では Davis⁹⁾、Coward¹⁰⁾、Stott¹¹⁾、Winmill¹²⁾のものなどがある。

石炭の内部表面あるいは外部表面に付着した水分が、石炭と空気との接触を妨げその結果として酸化反応を妨げるという実験報告¹³⁾は筆者により発表されている。

この他硫化鉄鉱が存在する場合は、水分が発熱を助長することは多くの報告¹⁴⁾がありよく知られているところであるが、わが国で現在稼行されている炭層で、硫化鉄鉱の含有が自然発火の主な原因と考えられているものは見当らないので、この報告ではこの点には触れない。第1報では着火温度、自然発火所要時間の実験結果についてのべる。この報告においては JIS M 8812に規定されている恒湿試料水分を固有水分、湿分に相当する水分を付加水分と呼び、石炭を乾燥させ固有水分の一部が蒸発して残つた水分を残存水分と名付けることにする。全水分は固有水分と付加水分の和であるが、石炭がある程度乾燥した場合は、全水分は残存水分を意味することになる。

2. 着火温度と水分の関係

Nandy ら⁸⁾は数種のインド炭の全水分と着火温度の関係を調べ、全水分5%のとき着火温度が最も低いので、石炭には最も自然発火しやすい全水分があり、乾燥石炭に乾燥空気を送入したときは触媒作用をなす水分が存在しないので着火温度は高くなると報告している。

筆者らは Wheeler の方法¹⁵⁾に類似した実験方法で石炭の水分と着火温度の関係を求めたが、Nandy らの報告とは全く異なる結果を得た。

* 昭和45年6月15日受理 日本鉱業会昭和45年度春季大会にて発表

1. 正会員 公害資源研究所北海道支所

第1図 着火温度測定装置

第2図
石炭充填層中の
温度分布

2.1 実験装置方法

実験装置は第1図に示す。内径 11cm、長さ 30cm の鉄製円筒の外側にニクロム線を巻きつけて電気炉とし、その中央に 60~150 mesh の試料 60g を入れたガラス製の反応管内径 40mm のものを置き、炉壁と反応管の間は砂で充填した。試料は反応管中のガラスウールの上に置かれている。砂の温度が 80°C/hr の一定速度で上昇するようにヒーターをコントロールしながら試料を加熱昇温させ、試料には 670 cc/min の一定流量の空気を送入した。

試料中の一定点の温度——時間曲線が砂中に設けた一定点の温度——時間直線と交わったときの温度を着火温度とした。空気は電気炉内の蛇管で暖められて反応管の上部から入り、試料石炭の充填層中を通過して下方へ流出する。反応管中の充填層は外周から熱を受け、上部から入る空気のため水分が蒸発し冷却されながら、酸化反応熱の発生のため温度上昇しようとする。このため充填層の内部は非常に複雑な温度分布を示し、この温度分布は全体の温度上昇とともに変化する。温度分布の変化の一

第1表 試料炭の分析結果

炭 鉱 名	工 業 分 析				燃料比	元 素 分 析				O/C
	水分	灰分	揮発分	固定炭素		C	O	H	N	
羽 幌	15.1	8.9	38.1	37.9	0.99	68.3	24.5	5.9	1.3	35.9
高 松	5.5	12.0	37.4	45.1	1.21	76.0	16.9	5.9	1.2	22.2
伊 王	1.6	6.5	43.6	48.3	1.11	82.4	9.6	6.5	1.5	11.7
三 池	1.4	6.0	43.1	49.5	1.15	83.6	9.0	6.3	1.1	10.8

例を示すと第2図の通りである。図には4つの熱電対の温度が示してある。熱電対は反応管に沿って上から No. 1, 2, 3, 充填層の中央は No. 4 である。このような温度分布の中から最高温度の点あるいは平均温度の点を見出して測温することは非常に困難であるので、この実験では充填層の中央部の一点を固定して常にこの点の温度変化を測定した。また充填層は充填率を一定するように注意し、固定測温点と充填層表面との距離が変化しないように特に注意した。空気はポンペに高圧充填したものを減圧調整弁を通して送入した。着火温度の測定値の誤差は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内であつた。

測定は固有水分の差により3炭種を選び、乾燥させたり、蒸留水を加えたりして試料の全水分を変化させ着火温度を測定した。乾燥させる場合は、試料を反応管の中におき乾燥窒素を送入しながら適当な温度に適当な時間保ち、ある残存水分まで乾燥させたものをそのままの状態乾燥窒素を送入しながら室温から温度上昇させた。測定試料の残存水分は直接分析したものではなく、同一条件で乾燥させた同種の試料の残存水分で表わした。付加水分を加える場合は、ビーカーの中の試料に適当量の蒸留水を加え、よく混和したものを反応管に入れ一定容積に充填して測定した。

2.2 実験結果

試料は羽幌、高松、三池炭を使用した。試料炭の分析結果を第1表に示す。3試料の全水分と着火温度の関係を第3図に示す。羽幌炭は固有水分が 15.1% であるので、横軸の水分は残存水分の意味であり、高松炭、三池

第3図
着火温度と水分の
関係

第2表 着火温度測定値

(1) 三 池 炭

水 分 %	平均値 ℃	母平均の95%信頼限界 ℃
0	214.6	$213.9 < \mu < 215.6$
1.4	216.4	$215.7 < \mu < 217.1$
4.5	220.8	$220.5 < \mu < 221.1$
9.0	223.2	$222.9 < \mu < 223.5$
12.0	225.4	$224.0 < \mu < 226.8$

(2) 羽 幌 炭

水 分 %	平均値 ℃	母平均の95%信頼限界 ℃
0	191.2	$190.7 < \mu < 192.1$
1.0	199.8	$197.6 < \mu < 202.4$
5.1	210.6	$207.4 < \mu < 213.8$
9.0	216.2	$215.2 < \mu < 217.2$
13.5	220.8	$218.8 < \mu < 222.8$

(3) 高 松 炭

水 分 %	平均値 ℃	母平均の95%信頼限界 ℃
0	191.2	$190.8 < \mu < 191.6$
2.8	196.0	$195.7 < \mu < 196.3$
5.5	200.4	$200.2 < \mu < 200.6$
8.5	202.6	$202.1 < \mu < 203.1$
12.0	206.6	$205.9 < \mu < 207.3$

炭では，固有水分以上では付加水分と固有水分の和を，以下では残存水分を意味している。図の着火温度は5回の測定値の算術平均 $\bar{x}$ で，測定値の母平均の95%信頼限界 μ を第2表に示す。参考のため Nandy らの報告したインド炭の着火温度も第3図に示した。図から3炭種とも全水分が減少するほど着火温度が下がることがわかる。比較のため13種の石炭の着火温度を固有水分に對してプロットすると第4図となる。図の着火温度は5回の測定値の平均値 $\bar{x}$ で，測定値の母平均の95%信頼限界 μ を第3表に示す。この実験結果では固有水分4～5%の石炭は着火温度が低くなつた。

以上から同一石炭では全水分が減少するほど着火温度は低くなり，全水分ゼロのとき最低となる。しかしながら固有水分が少ない石炭の着火温度が低いとはいえないことがわかる。

3. 自然発火所要時間と水分の関係

石炭の自然発火とは石炭が常温から温度上昇し燃焼状態になる現象であり，自然発火所要時間を，この間に要する時間の意味に用うれば，ある条件が自然発火におよぼす影響という場合，自然発火所要時間にどのような変化を与えたかという意味になる。ここでは石炭の固有水分の一部が蒸発し，残存水分が減少していつたとき自然発火所要時間がどのように変化するかについてのべる。

自然発火所要時間は炭質，空気中の酸素濃度により変わるが，石炭の量，おかれた状態によっても変わる。す

第4図

石炭の固有水分と
着火温度

第3表 石炭の固有水分と着火温度

	炭 名	水分	着 火 温 度 °C					$\bar{x}$	μ
1	藤 田	18.5	212	210	207	212	211	210.4	$207.8 < \mu < 213.0$
2	太 平	5.8	197	197	198	197	200	197.8	$196.1 < \mu < 199.5$
3	砂 川	3.5	190	195	193	193	194	193.0	$190.8 < \mu < 195.2$
4	美 川	3.2	200	202	198	198	202	200.0	$197.5 < \mu < 202.5$
5	赤 平	2.8	201	202	200	197	197	199.4	$196.5 < \mu < 202.3$
6	奔 別	2.7	206	208	208	208	208	207.6	$206.6 < \mu < 208.6$
7	奔 別	2.6	205	200	202	202	205	202.8	$200.0 < \mu < 205.6$
8	芦 別	2.5	203	201	202	203	201	202.0	$200.8 < \mu < 203.2$
9	豊 里	2.2	206	205	203	205	207	205.2	$203.3 < \mu < 207.1$
10	歌 志	1.6	205	207	208	207	206	206.6	$205.1 < \mu < 208.1$
11	夕 張	1.0	213	215	212	215	214	213.8	$212.1 < \mu < 215.5$
12	歌 志	0.8	208	205	207	208	207	207.0	$205.1 < \mu < 208.9$
13	大 張	0.5	211	213	210	209	207	210	$207.2 < \mu < 212.8$

なわち石炭量が多いほど，量に対する表面積が小さいほど，また気流による熱の逸散が少ないほど，酸化発生熱は蓄積されやすく自然発火所要時間は短くなる。したがって自然発火所要時間の表現は非常に複雑なものになるので，ここでは熱の逸散は全くなく，発生した熱は全部蓄積されるという条件で自然発火所要時間を求めた。

しかしながら発生した熱を全部蓄積し，外部からの熱を完全に遮断することはいかなる断熱装置を用いても不可能に近い。故にこの種の実験には断熱装置の精度により，装置特有の誤差が入ってくる。この誤差は酸化熱が小さいときほど大きく表われるので，酸化熱の大きい若年炭では低温での実験が可能でも，酸化熱の小さい石炭化の進んだ石炭ではある程度高温でなければ実験できない。

また低温から昇温させるほど自然発火所要時間は長くなり，実験時間が長くなるので，温度調節装置がノイズにより乱される率も大きくなる。故に装置によつて実験可能な最低温度が定まってくる。

筆者らの装置では乾燥石炭に乾燥酸素を作用させるという条件で，酸化熱の小さい端島炭，夕張炭クラスは40℃から実験可能であつた。試料炭を乾燥させない場合，酸素の代りに空気を用いた場合は酸化熱が小さくなるので実験可能な最低温度は高くなる。この装置は宮川ら¹⁴⁾の報告を参照して製作した。

3.1 実験装置方法

装置は既報¹⁶⁾のもので，試料に送入するガスの湿度を調節するため送入ガスは乾燥剤またはある温度の水中を通した。

乾燥石炭の実験は反応管中の石炭を107℃で3時間窒素気流中におき、そのまま56℃まで冷却し、窒素の代わりに乾燥酸素72cc/minを送入して実験を開始し、実験経過時間に対する石炭温度を記録し、石炭温度が140℃になったとき実験を中止した。水分を含んだ石炭の実験は、56℃に保たれた反応管中の試料に適当な湿度の窒素を72cc/min 18時間送入し、石炭をある残存水分まで乾燥させ、窒素を同流量、同湿度の酸素に切換えて測定した。

3.2 実験結果

羽幌炭、高松炭、伊王島炭の残存水分が変化するときの温度—時間曲線を第5～7図に示す。グラフ左側の数字は酸素送入開始時の石炭の残存水分%と送入したガスの

第4表 送入ガス湿度と石炭水分

	ガスの湿度 g/m ³	羽幌炭		高松炭		伊王島炭	
		水分%	水分比	水分%	水分比	水分%	水分比
A	0	0	0	0	0	0	0
B	3.0	4.0	0.26	1.1	0.20	0.17	0.11
C	17.3	5.7	0.38	2.1	0.39	0.75	0.47
D	30.4	6.9	0.46	2.7	0.48	0.91	0.57
E	50.7	8.2	0.54	3.2	0.58	1.10	0.69
F	83.0	9.5	0.63	3.7	0.68	1.30	0.81

絶対湿度 g/m³ である。例えば第5図羽幌炭の右端の曲線F: 9.5—83は、酸素送入開始時の石炭の残存水分は9.5%で送入した窒素、酸素の湿度が83 g/m³の意味である。Fは第4表の分類記号である。したがって0-0は乾燥した石炭に乾燥した窒素、酸素を送入した場合である。

送入ガスの湿度と酸素送入開始時の石炭の残存水分および水分比を第4表に示す。水分比は実験開始時の残存水分と固有水分との比である。第7図の伊王島炭のグラフでは図の繁雑をさけるためB: 0.2—3, D: 0.9—30.4を省略してある。

温度—時間曲線から6℃ごとの温度上昇速度℃/minを求め、石炭の絶対温度の逆数1/T°Kに対してプロットすると第8～10図が得られる。図には第4表のA, D, Fの場合が示してある。図から乾燥状態Aではグラフは

第5図 羽幌：水分と温度—時間曲線

第6図 高松：水分と温度—時間曲線

第7図 伊王島：水分と温度—時間曲線

第8図

羽幌： $d\theta/dt$ - $1/T^{\circ}K$ 曲線

第9図

高松： $d\theta/dt$ - $1/T^{\circ}K$ 曲線

第10図
伊王島： $d\theta/dt$ -
 $1/T^{\circ}\text{K}$ 曲線

第5表 石炭水分と自然発火所要時間

	所 要 時 間 hrs		
	羽 幌	高 松	伊 王 島
A	2.8	3.8	8.5
B	3.5	4.7	8.9
C	5.0	6.4	10.1
D	5.8	8.5	11.2
E	7.3	10.2	12.3
F	12.1	12.1	14.4

折れた2本の直線になり，反応はアーレニウスの式に従うことがわかるが，D，Fは直線にならないで，温度が高くなるにつれて温度上昇速度 $d\theta/dt$ はいつたん小さくなり，その後再び大きくなることがわかる。

3-3 考察

(1) 第5～7図を比較すると固有水分の多い羽幌炭では，乾燥したときの温度上昇は非常に早く，自然発火所要時間は短いが，残存水分が多くなると急に長くなり曲線は広い範囲に散っている。これに反し固有水分の少ない伊王島炭では，乾燥したときでも所要時間は短くないが，残存水分が多いときでも長くはならないでグラフは集まっている。

第5表に第4表の種々の水分の場合の60℃より132℃までの自然発火所要時間を示した。羽幌炭のAとFの比は4.3，高松炭は3.2，水分比がこれに近い伊王島炭のAとEの比は1.4で，水分比が1に近い状態で測定した自然発火所要時間は炭種による差が少ないが，水分が蒸発した状態で測定した自然発火所要時間には大きな差があるといえる。

実験は温度調節器の精度のため全水分が固有水分に等しい石炭について行なうことができなかったが，そのような状態で測定した自然発火所要時間は炭種による差が一層少なくなるであろうことは推定できる。

室内実験から，石炭化度と自然発火性の関係を求めると，石炭化度の低い石炭ほど自然発火しやすいという結果がでてくるが，これは，第5～7図のAのグラフを比較したための結果である。室内実験の結果と現場の自然

発火経験が一致しない理由の1つは，実験試料の水分について考慮が払われていないためではないだろうか。

(2) 第5図羽幌炭Fのグラフを見ると，酸素送入開始時は湿度の変化はないので，水分の蒸発はおこらず酸化熱のため石炭温度はすぐ上昇し始める。ある程度上昇すると送入している酸素も温度上昇のため飽和蒸気圧が大きくなり残存水分は蒸発し始め，蒸発熱のため温度上昇速度は小さくなり，蒸発がさかんになると温度上昇はとまる。66～72℃の $d\theta/dt$ は0.03℃/minで60～66℃の0.056℃/minより小さい。蒸発量が少なくなるにつれ再び酸化熱は大きくなり， $d\theta/dt$ は温度上昇とともに指数関数的に大きくなる。

実験は装置の精度の制約から56℃以上について行なつたが，実験結果から坑内の自然発火の場合を推定してみる。炭層温度は深度により変るが25℃と仮定する。坑外空気が採掘箇所付近まで来たとき大体炭層温度になり，その温度での飽和蒸気圧を持つているとすれば，石炭よりの水分の蒸発はほとんどおこらないので蒸発熱は奪われない。石炭は低温であり水分を含んでいるので酸化熱は僅かであるが，蒸発熱を奪われないので温度上昇し25℃から30℃近くになるであろう。石炭温度が30℃-近くになると25℃の飽和蒸気圧をもつた空気も30℃-近くになり，石炭の水分は蒸発を始め，蒸発熱を奪われるため温度上昇はとまる。ある程度蒸発し蒸発量がへると再び酸化熱のため温度上昇が始まる。このような現象を繰返して石炭の水分は減少していき，ある残存水分になると温度上昇は早くなり指数曲線を描くようになるのであろう。

したがって坑内の石炭の温度上昇は第11図の実線のグラフをたどることが推定される。図の点線のグラフは，乾燥石炭について温度上昇はアーレニウスの式に従うという仮定に基づき断熱装置で求めたもので，この場合はより高温での実験結果から，常温から燃焼状態までの所要時間を推定することができるが，実際の自然発火のさいの温度上昇はアーレニウスの式には従わないし，実線のグラフのA，B間の時間は複雑な条件が考えられるので，実験を行なっていない範囲の温度-時間曲線の推定は非常に困難である。

(3) 第8～10図をみると100℃以上でも温度上昇速度は送入酸素の湿度で差がでている。実験開始時の石炭

第11図
自然発火の温度
上昇曲線

第6表 高松炭 107°C における残存水分

送入 N ₂ の湿度 g/m ³	0	17.3	30.4	50.7	83.0
石炭の残存水分 %	0	0.26	0.35	0.45	0.67

水分に差があつても、100°C 以上では石炭は乾燥するので、 $d\theta/dt$ は等しくなると考えられるが、送入している酸素の湿度のため石炭は 100°C 以上になつてもいくらかの残存水分をもっているため $d\theta/dt$ は等しくならない。例えば高松炭を断熱装置と同じ実験条件で水蒸気を含んだ窒素を送入しながら 107°C に保ち、18 時間後残存水分を分析すると第 6 表のようになる。表から送入ガスの湿度により石炭の残存水分に差があることがわかる。この差だけ酸素と反応する石炭の表面積に差があり、その分だけ $d\theta/dt$ に差ができるのではないだろうか。

もし Nandy, Hodge, Graham らの報告のように、石炭中に僅かの水分があつた方が自然発火しやすいのであれば、第 9 図において 100°C 以上において $d\theta/dt - 1/T^{\circ}\text{K}$ 曲線は A, B, C, D, E の順にならぶことはないはずである。

以上から石炭は固有水分の蒸発量が少ないほど反応表面積が小さく、このため反応熱も小さくなり、自然発火所要時間は長くなり温度上昇速度はおそくると推定される。

4. ま と め

石炭の自然発火と水分の関係を明らかにするために一連の実験を行ない第 1 報では着火温度、自然発火所要時間について報告した。結果を要約すると、次の通りである。

(1) 石炭の着火温度は酸化しないようにして乾燥させたときが最も低く、全水分が増すと着火温度は高くなる。

(2) 同一石炭では水分が蒸発するほど、酸素と反応し得る表面積が広がるので、温度上昇速度は早くなり、自然発火所要時間は短くなる。

(3) 固有水分の多い若年炭では蒸発により水分が減少した場合、自然発火所要時間の減少は著しいが、固有水分の少ない高炭化度炭では水分が蒸発したための自然発火所要時間の減少は著しくない。乾燥した石炭の自然発火所要時間は、炭種によつて大きな差があるが蒸発による固有水分の減少が少ない場合はその差は少ない。

(4) 固有水分を失なつた石炭の温度-時間曲線はアーレニウスの式に従うので、一部分の温度範囲の測定値があれば常温から着火温度付近までの温度-時間曲線を描くことができるが、乾燥していない石炭では水分の蒸発の影響が入るため、実測値から他の温度範囲の推定は不可能に近い。また実験結果から炭層内の石炭の常温からの温度上昇曲線を定性的に推定した。

付言 この研究を行なうについて、九州大学生産科学研究所江渕教授より有益なる助言をいただいた。ここに厚く感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) M. Guney: Coal. Guard. Vol. 216, p. 105, p. 137
- 2) N. Berkowitz 他: Fuel Vol. 30 No. 4 p. 94
- 3) D. Hodge 他: Min. Engr. Jan, 1964, p. 211
- 4) Chemistry of Coal Utilization Vol. 1, p. 618
- 5) R. E. Jones 他: Trans. Faraday Soc. Vol. 42, p. 297
- 6) D. Hodge 他: Min. Engr. Vol. 1966, p. 121
- 7) J. Graham 他: T. I. M. E. 1913, Vol. 46, p. 563
- 8) D. K. Nandy 他: J. of Mines, Metals and Fuels, Oct, 1967, p. 297
- 9) J. D. Davis 他: Tech. Paper 409, 1928, Bur. Mines
- 10) F. H. Coward: Res Rep. Safety in Mines, 142, 1957
- 11) J. B. Stott 他: Fuel, 32, Oct, 1953, p. 415
- 12) T. F. Winmill: T. I. M. E. Vol. 48, 1914~15, p. 535
- 13) 田代襄他: 日鉱誌, Vol. 82, No. 941, p. 745
- 14) 〃 Vol. 85, No. 975, p. 497
- 15) T. F. Winmill: T. I. M. E. 1915~1916, Vol. 51, p. 500
- 16) 宮川一郎: 石炭の自然発火, 昭18, 共立出版, p. 73
- 17) R. V. Wheeler: Fuel, Oct, 1924
- 18) 田代襄他: 日鉱誌, Vol. 85, No. 969, p. 15

The Influence of Moisture on the Spontaneous Heating of Coal

by Jo TASHIRO, Makoto KŌNO and Isao TAKAKUWA

The authors describe a series of laboratory experiments designed to investigate the influence of moisture on the spontaneous heating of coal on a quantitative basis. The experiments have shown next two conclusions.

The spontaneous ignition point is found to be lowest when the moisture content is zero, and it progressively increases with the increase of the moisture content of coal.

The relation between the moisture and the rate of temperature rise is expressed by the phrase that the more, the lower. The highest rate of temperature rise is shown by dry coal.