

鑄物砂水分計

Molding Sand Moisture Meter

江上種一* 土田弘志* 田島光三*
 Tanekazu Egami Hiroshi Tsuchida Kôzô Tajima
 中井陽作** 清水栄蔵** 弘田隆**
 Yôsaku Nakai Eizô Shimizu Takashi Hirota

内 容 梗 概

HS式鑄物砂水分計はベルトコンベヤ上を流れる鑄物砂の水分を連続測定することができる。測定範囲は0~7.5%であり、精度も水分4%において±0.15%と画期的に性能がよい。

1. 結 言

鑄物砂の水分は鑄物の不良と密接な関係がある。水分が多いと鑄型中に金属溶湯が注入された場合に水分が急に蒸発し、金属に数多くの空洞を生じ、いわゆる「吹れ」不良の原因となる。また水分が少ない場合は鑄型の強度が不足して、鑄型の欠損による「型壊れ」といわれる不良や、金属溶湯が注入された場合砂が流され「砂入り」といわれる不良の原因となる。このように鑄物砂の水分管理は鑄物の製造において管理されるべき重要な一因子である。しかしながら従来から適切で迅速な水分測定法がなかったため、鑄物砂混練作業者が砂をにぎりその感触により水分を測定してきた。この「にぎり」による水分の測定は熟練者によればかなり適格に測定ができることが報告されている⁽¹⁾。しかし最近のように鑄物砂の混練設備が高度に機械化され、多量の砂をしかも連続的に混練するようになると、もはや人間の感覚では水分を測定することができない状態になってきた。

鑄物砂の水分測定については、従来から種々の方法が提案され、実用化されてきたが、迅速性がなく、精度あるいは測定範囲などで十分でなく、鑄物砂の水分の自動調節用としては、いずれも不満足な結果しか得られていない。今回、われわれが開発したHS式鑄物砂水分計はコンベヤで運搬されている鑄物砂の水分を連続的に測定することが可能であり、しかも測定範囲は0~7.5%と広く、精度も十分なものである。以下鑄物砂水分計について述べ、HS式鑄物砂水分計の特色を述べる。

2. 鑄物砂水分測定法

鑄物砂の水分測定全般にわたり、特に鑄物砂の自動調節を目的とした場合について Hans-Joachim Dietze⁽²⁾ 氏の論文がある。この論文には鑄物砂水分測定法で現在まで実用化された方法およびその他の方法について記述してある。第1表にその概要を示す。

筆者らの経験と他に見られる論文から上記の方法について考察を試みる。

2.1 絶対的方法

ここで取り上げる鑄物砂の水分とは鑄物砂に含まれる常温で蒸発可能な水分のことであって、砂の中に含まれる結晶水はその対象外である。したがって鑄物砂の水分測定の絶対的な測定法としては鑄物砂を乾燥してその減量から(1)式により水分を求める。

$$M = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 M: 水分 (%)
 W₀: 乾燥前重量

第1表 鑄物砂水分測定方法

測定方法	測定手段	測定量	自動化の可否	誤差(%H ₂ O)
絶体的 ⁽¹⁾	乾燥	重量減	否	<±0.1
	赤外線乾燥		否	<±0.1
化学的 ⁽²⁾	カルシュームカーバイト加水分解	ガス圧	否	>±0.5
	Karl-Fisher試薬		滴定	否
電氣的 ⁽³⁾	伝導率	電流または抵抗容量	可	±1~2
	誘電率		可	>±0.2 (注)
	誘電体損失		可	>±0.3
核物理的 ⁽⁴⁾	マイクロ波損失	GHzの領域	可	±0.2
	β線吸収	熱量	可	±2~3
	高速中性子の減速核共鳴吸収	熱中性子	可	±0.05~0.5
		吸収または核信号	可	±0.1

(注) HS式鑄物砂水分計は±0.08~0.2%の精度である。
 (Hans-Joachim Dietze)

W: 乾燥後の砂重量

一般には測定を迅速にするためJISで規定するように、鑄物砂を105~110℃で乾燥し、その減量比より水分値を算出する。

さらに簡単迅速の方法として試料箱に入れ強制的に熱風を循環させたり上面が開放した皿に試料を取り上部から赤外線により鑄物砂の温度を上昇せしめる手段が用いられる。試料の重量が小さければ乾燥時間が短くてすむが、精度は悪くなる。

2.2 化学的方法

鑄物業界で最も多く用いられているのはカルシュームカーバイト法で、一定量の鑄物砂とカルシュームカーバイトを気密な容器で反応させ、水と反応してできたアセチレンのガス圧を測定する。



(2)式のように、この反応で水分量に比例したアセチレンのガス圧が発生する。機器の構造は簡単で持ち運びに便利であるが一般に精度はよくない。その他加水分解を利用するものあるいはKarl-Fisher試薬を用いるものなどがあるが化学的方法のいずれも一定量の鑄物砂をサンプリングしてさらに化学的処理を行なって水分値を出す方法であるので迅速性にはかける。特に連続的に水分値を測定し水分の自動制御に利用することはできない。

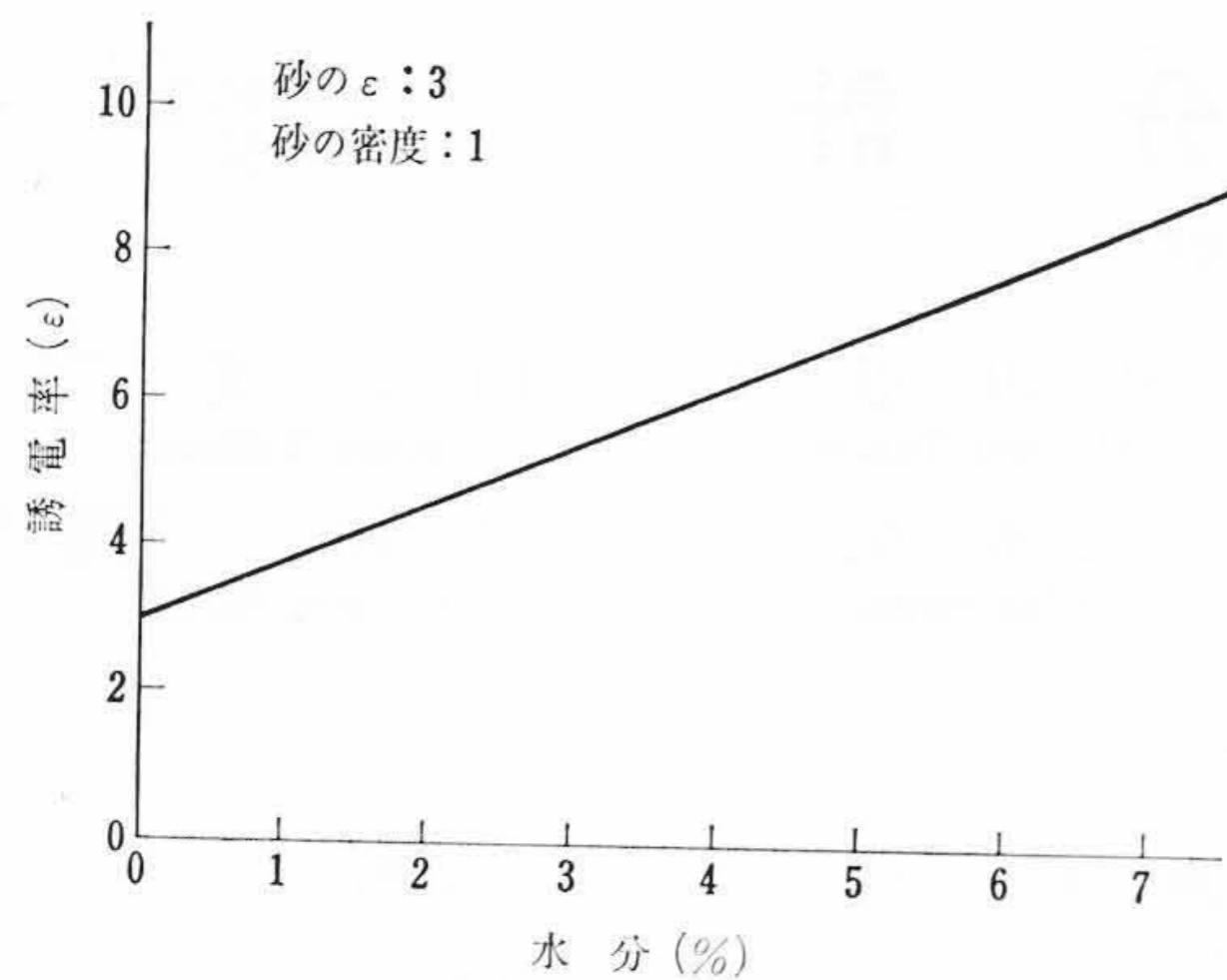
2.3 電氣的方法

水分値が電氣信号で得られると水分の記録および水分の自動制御が容易にできるので従来から水分値によって変化する鑄物砂の電氣的特性を測定する方法が試みられてきた⁽³⁾。

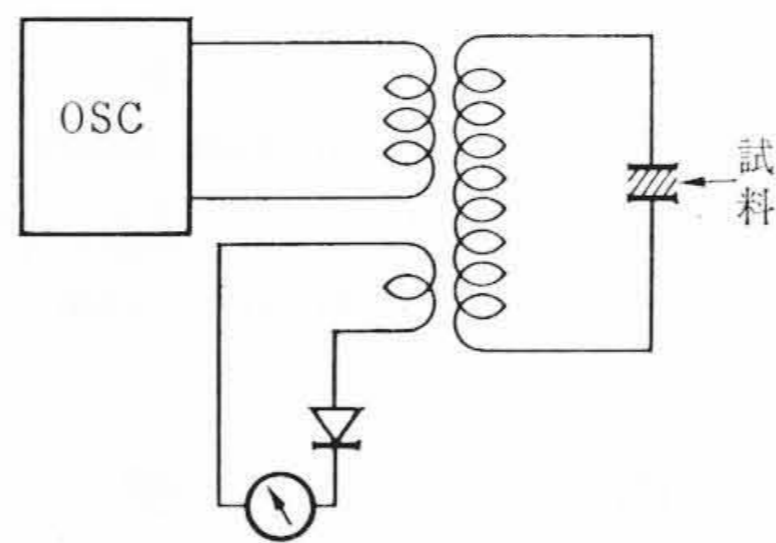
2.3.1 電氣伝導度の測定

鑄物砂の水分が変化すると砂の電氣伝導度が変化するので古くから利用の方法が考えられてきた。しかし鑄物砂の電氣伝導度は水分だけでなく砂の温度および添加物の含有量によって著しく変化するので現在ではほとんど利用されていない⁽⁵⁾。

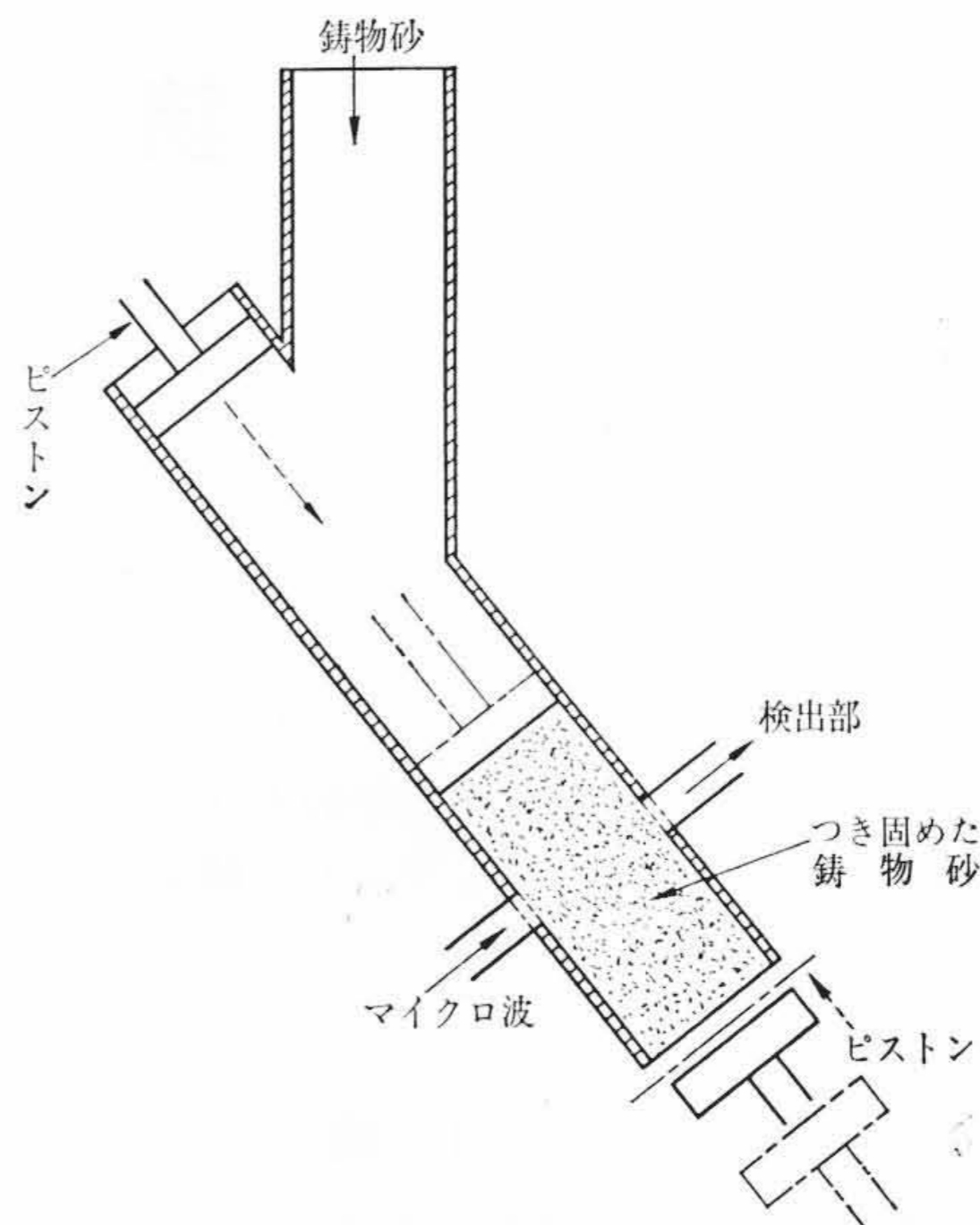
* 日立金属工業株式会社深川工場
 ** 国際電氣株式会社狛江工場



第1図 水分と誘電率の関係



第2図 単一共振回路



第3図 鑄物砂つき固め方式

2.3.2 誘電率の測定

鑄物砂の誘電率は約3で水の誘電率は約80であり、その比はかなり大きい。したがって鑄物砂に少量の水分を添加しても見かけの誘電率が大きく変化する。一般に誘電率と水分%との関係は次の近似式で表わされる。

$$M = K(\epsilon - \epsilon_0) \dots\dots\dots (3)$$

ただし、M: 水分 (%)

K: 材質による定数

ε: 水分M(%)における材質の誘電率

ε₀: 材質固有の誘電率

比重1の鑄物砂について誘電率と水分の関係を計算で求めたものを示すと第1図になり、誘電率を測定することにより水分が求められる。誘電率測定の基本回路が第2図に示すような単一共振回路の場合には、回路自体の温度特性、鑄物砂の電気伝導度によって回路のQの低下に起因する容量指示変化(誤差)が起こる。したがって従来の誘電率測定による鑄物砂水分計は鑄物砂の温度変化、添加物の含有量により指示が影響されている。しかし後述するIB回路(複々同調回路)によれば、これらの影響を受けることなく誘電率を測定できる。

2.3.3 誘電体損失の測定

誘電体損失はQメータなどを利用して、高周波抵抗を測定して求めるが、2.3.1に記したように鑄物砂の電気伝導度は砂の温度および添加物によっても変化するので精度が悪い。現在まで多くの測定器が市販されたが実用化に至らなかった。

2.3.4 マイクロ波吸収の測定

マイクロ波は水に吸収されやすいので絶対的な水分測定が可能である。しかしマイクロ波を均質な鑄物砂の中を通す必要があり、種々の考案がなされているが精度を出すためには断続的になり構造も複雑である。第3図は Godding⁽⁶⁾ 氏らの方法である。コンベヤで輸送される鑄物砂は一定間隔で採取され、この砂はといを下り、ピistonによりつきかためられて一定密度の試料となる。これにマイクロ波を通して水分を測定する。

2.4 核物理的方法

核物理の原理を利用するものでは高速中性子の減速を利用するものと核共鳴を利用するものが実用化されている。しかし核共鳴を利用するものは、やはり試料を正確に作らなければならずまた設備費が高いので、実用にはむかない。

2.4.1 中性子水分計

高速中性子は水素原子に衝突して減速し熱中性子^{(7)~(10)}に変わる。BF₃管は、この熱中性子のみ感じて計数を行ない高速中性子には感じない。したがって一定時間に、BF₃管で熱中性子を数えれば、これは鑄物砂の水素原子数すなわち水分に比例するこ

とになる。しかし鑄物砂の中には、デンプンなど水素原子を多く含む有機物質が含まれ、その混合割合も変化するので、これらが誤差の要因となる。また水分4%程度の低水分では、熱中性子を減速するために必要な砂の量が多く、一回の測定のために1.5t程度の砂をホッパーに入れなければならない。A. Burley⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 氏は非常に精度が良く測定しているが、連続的には測定できない。

2.5 各種鑄物砂水分計の特性

現在世界で開発された水分計の特性を第2表に示す。HS式は誘電率を測定する方式であるが、電気伝導度の影響を受けずに連続的に測定できる特色を持つ。さらに測定範囲も広い。

3. HS式鑄物砂水分計

HS式鑄物砂水分計は前節に詳記した種々の測定法の長所欠陥を調査のうえ、コンベヤで運搬されている鑄物砂の水分を連続測定することを目的として製作されたものである。

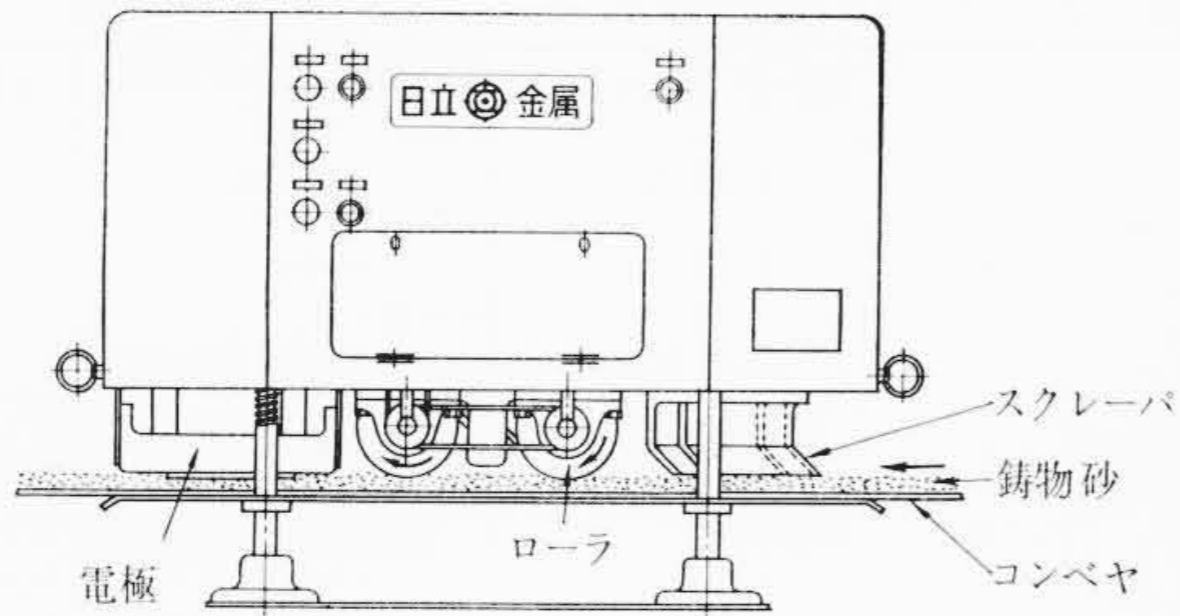
3.1 試料の均一性

試料の均一性がわるければ、すぐれた測定原理を用いても精度よく水分を測定できない。コンベヤで流れる鑄物砂を連続的に均一にすることがまず必要である。混練された鑄物砂はかなり流動性が悪くなっている。このため第4図に示す均一化装置を必要とする。

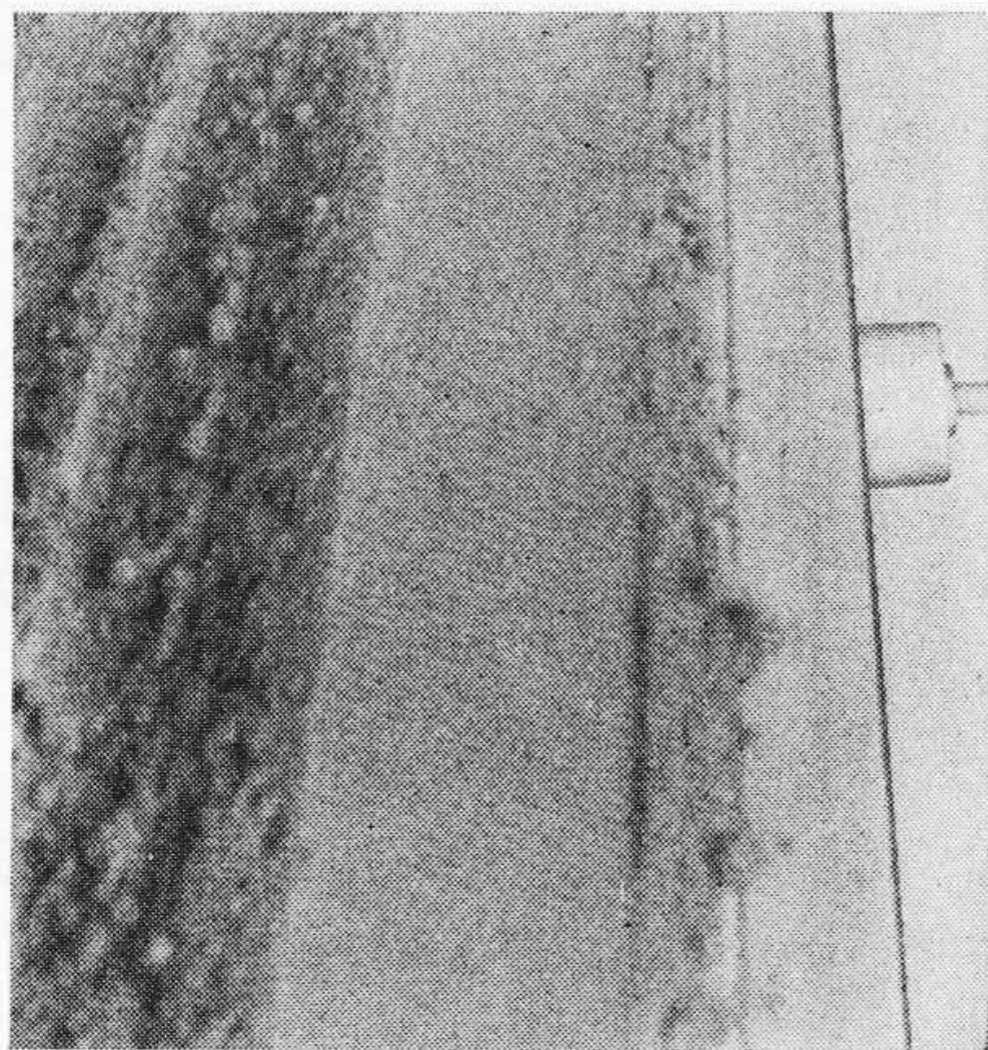
右からコンベヤで鑄物砂が送られてくると、スクレーパにより高さを一定にそろえられる。二つの回転するドラムにより砂の表面が一定の圧縮力を受け、均一な密度になる。ドラムの周速はベルトの速さと同じである。このようにして表面より数mmが均一な状態の鑄物砂をベルトコンベヤ上に一定の高さに作り出すことができる。均一な状態を第5図に示す。砂の種類にもよるが水分が約7.5%以上となると、流動性が急に悪化して均一性も悪くなる。したがってこの方式による鑄物砂中水分の測定範囲は0~7.5%である。

第2表 各種鑄物砂水分計の特性

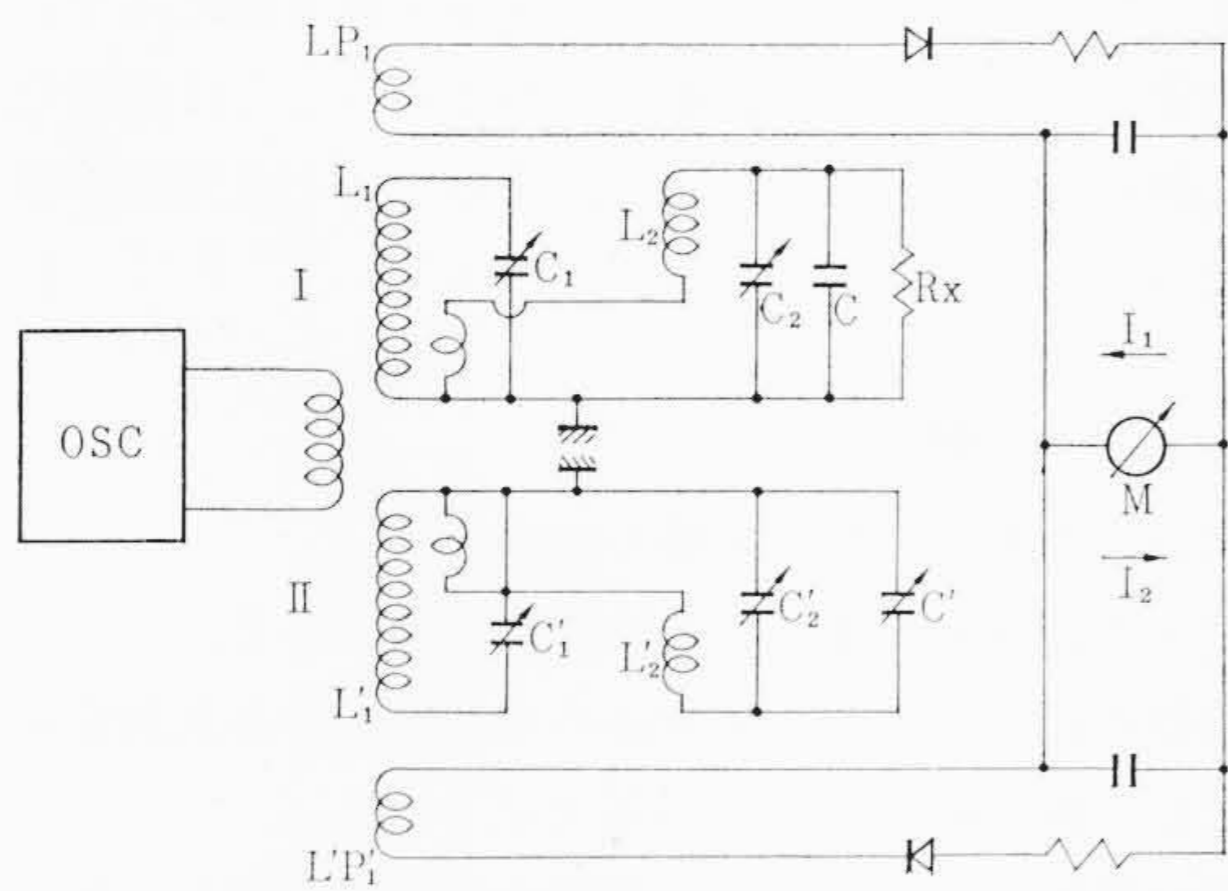
	HS式 (日) 日立金属	P社 (独)	D社 (米)	B協会 (英)	日立およびG社 (日・米)	O氏 (露)
測定原理	誘電率	誘電率	誘電率	マイクロ波 吸収	中性子	抵抗
電気伝導度 の影響	なし	有	有	なし	なし	利用
連続測定	可	可	可	断続測定	不可	可
備考	測定範囲 が広い 0~7.5%	測定範囲 がせまい 0~3%	測定範囲 0~5%	構造が複雑で高度 のマイクロ波の技術が必要	大形バッチ用 としてのみ 使用可能放射 線防護が必要	温度の影響大



第4図 均一化装置



第5図 均一化装置によって均一な状態になったコンベヤ上の鑄物砂



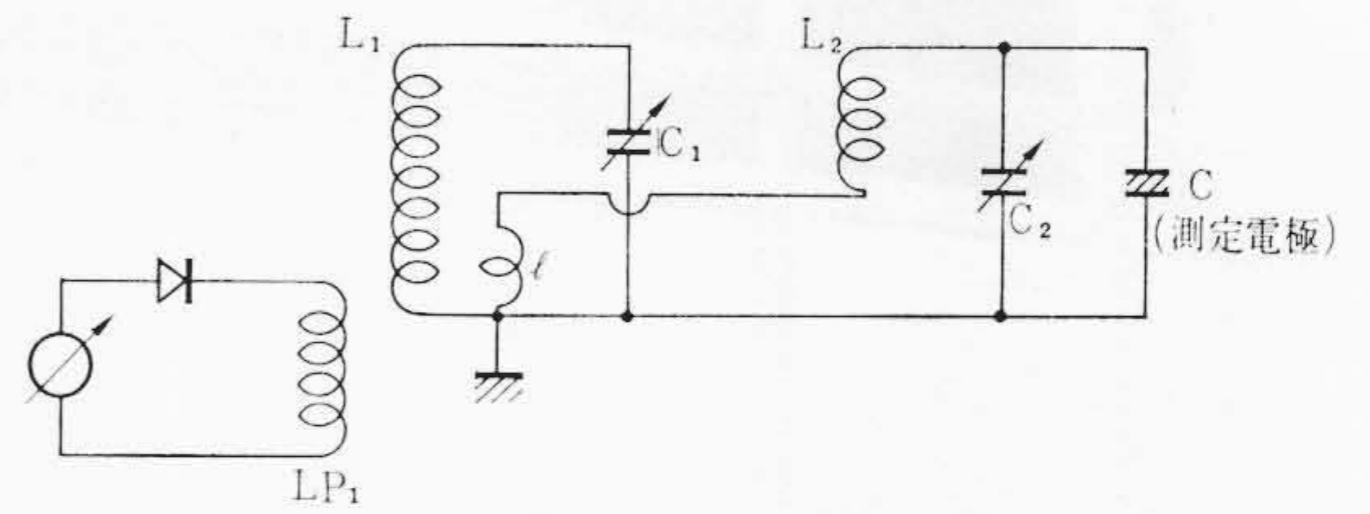
第6図 水分検出回路原理図 (I B回路法)

3.2 電気伝導度の影響の除去

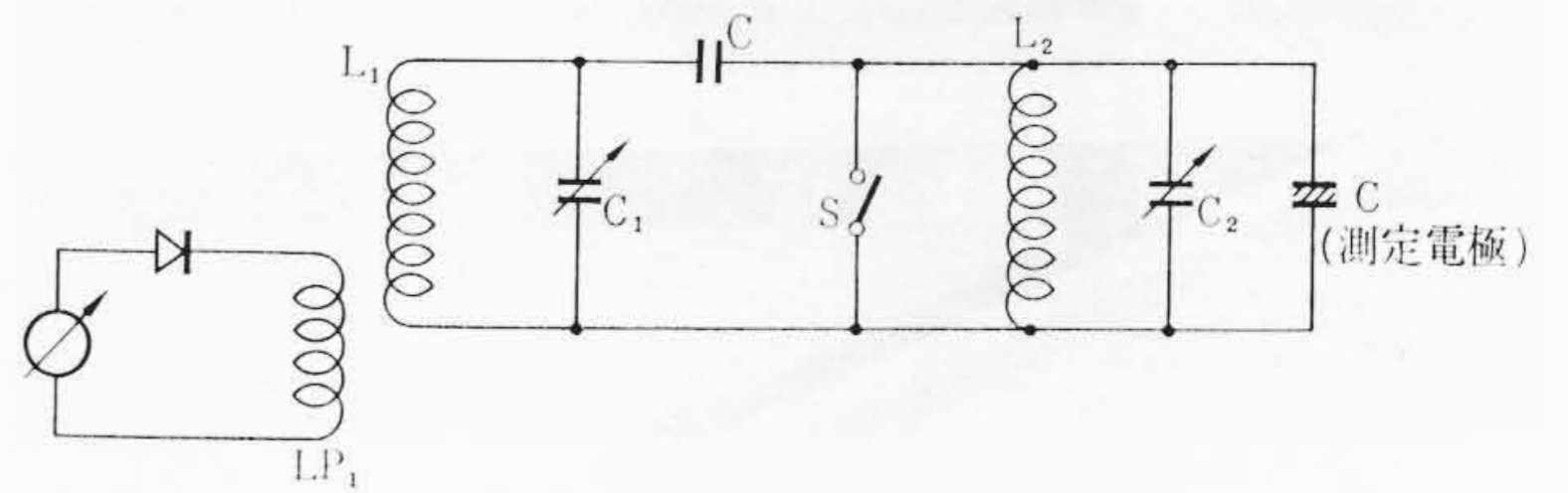
鑄物砂の水分を誘電率で測定する場合、電気回路的に鑄物砂の電気伝導度の影響を除去しなければ、温度変化や、添加物（ベントナイト）による誤差を生じる。筆者らはこの点を考え一文字二郎氏発明のI B回路（複々同調回路）を使用した⁽¹⁾。I B回路は第2同調回路を持った検出部と水分計内にある第1同調回路とが組み合わされたもので鑄物砂の電気伝導度による影響を受けないで鑄物砂の水分を測定できる。第6図にI B回路法の基本的回路を示す。このIとIIの回路は、対称構造になっていて電極のCを入れずにC₂、C₂'を同一容量になるようセットすると、電流計Mには同電流がおおの反対方向に流れて常に電流計Mは振れない。

第6図のIの同調回路のみを取り出したのが第7図である。L₁とlとの結合を書き変えると第8図のようになる。複同調回路におけるL₁、C₁（第8図のSを短絡した状態で行なう）で同調点を求めると第9図の(A)の同調曲線が求められる。この同調点でC₁を固定し、L₂、C₂回路のC₂を変化すると（このときSは開いておく）ピックアップコイルLP₁に生ずる電流は(B)の曲線になる。

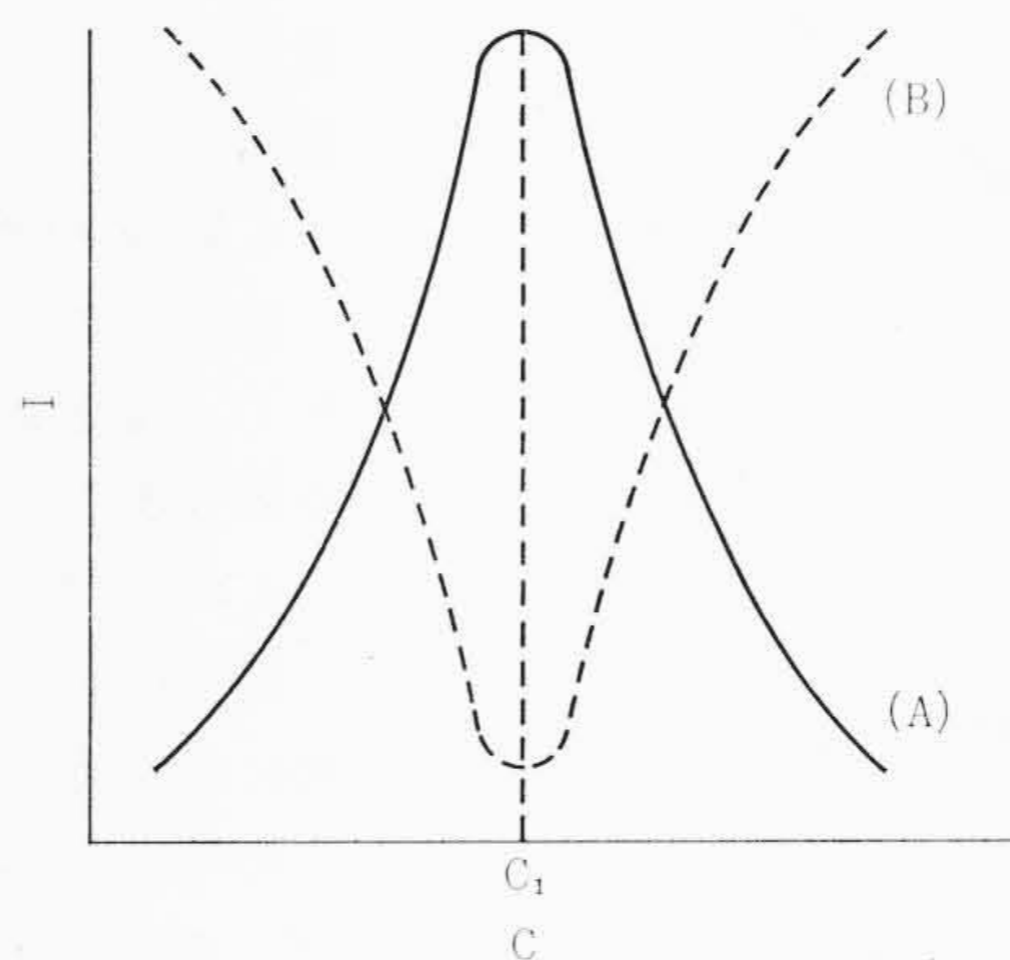
一般に被測定物には、電気伝導度R_xがあって、第9図の(A)曲線のように単一共振回路の特性では全体的に低いほうに下り、測定



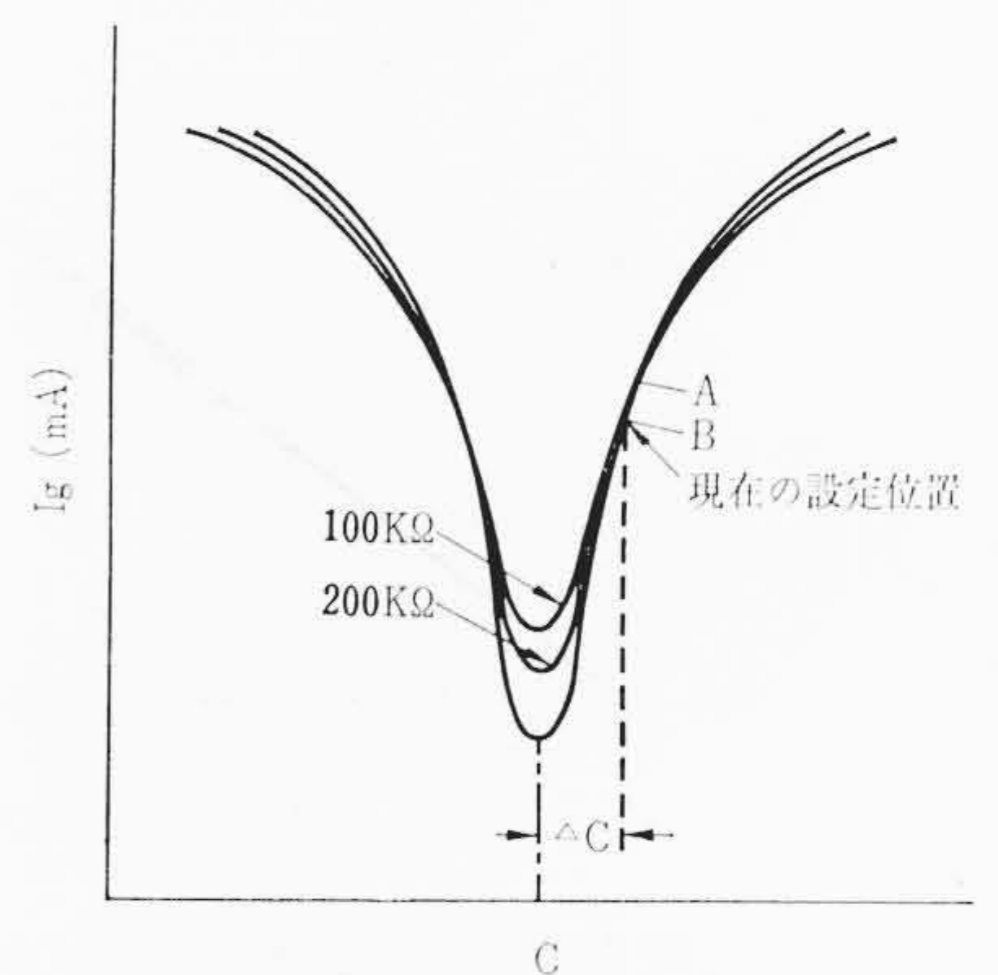
第7図 複同調回路 (M結合)



第8図 複同調回路 (C結合)



第9図 同調曲線



第10図 検出回路特性

電流が一定しないので測定が困難になる。これに対して複同調回路では電気伝導度の変化があっても第10図の特性のように変化しないA, B点がある。したがって第10図B点に設定しておけば、水分増加により静電容量が大きく、電気伝導度が小さくなったA点でも検出回路から見た場合、電気伝導度の変化による影響が少なく静電容量の変化のみを巧みに検出することができる。I B回路を使用すれば電気伝導度の影響、すなわち鑄物砂の温度および添加物の影響を受けず、再現性、信頼度の非常に高い水分値が得られる。実際の回路としては第6図のI, IIの回路をそれぞれ複同調回路とし、第1同調回路と第2同調回路とを相互誘導結合し、第2同調回路に測定電極を並列に接続して被測定物の電気伝導度の影響を無視できるようにしてある。したがってこの部分の静電容量の変化分のみをとらえて正確な水分測定ができる回路になっている。

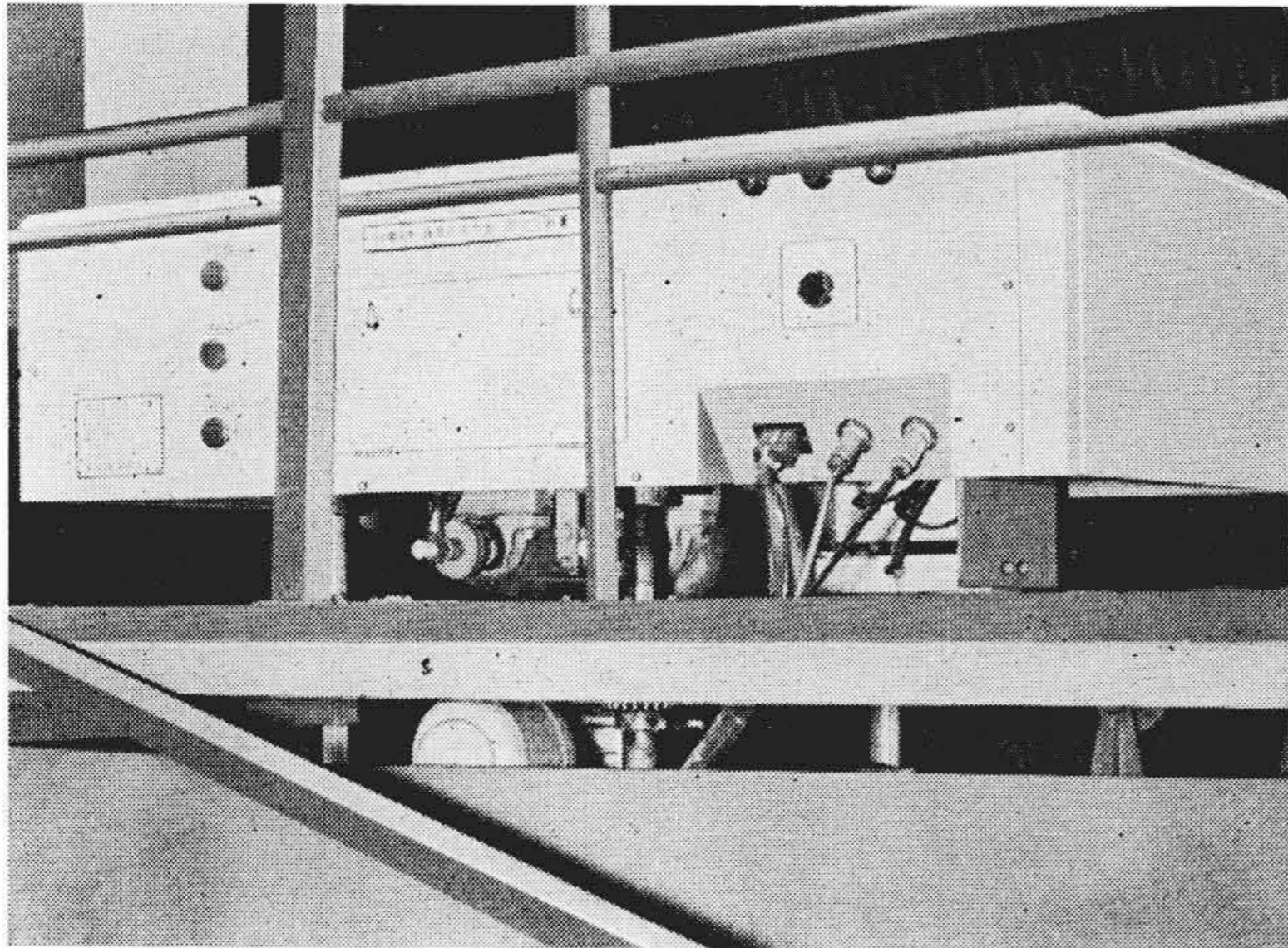
3.3 連続測定

水分を測定する電極は第4図に示すように密度が一定にされた鑄物砂の上面に鑄物砂にふれないように一定の間隔で設置されている。電極からの電場は下向きにでて均一化された鑄物砂の中を通り、水分変化によって変化する電極容量が測定される。このようにコンベヤ上を流れる鑄物砂の水分を連続的に測定が可能である。しかも電極は鑄物砂に接していないので電極の摩耗が生じない。

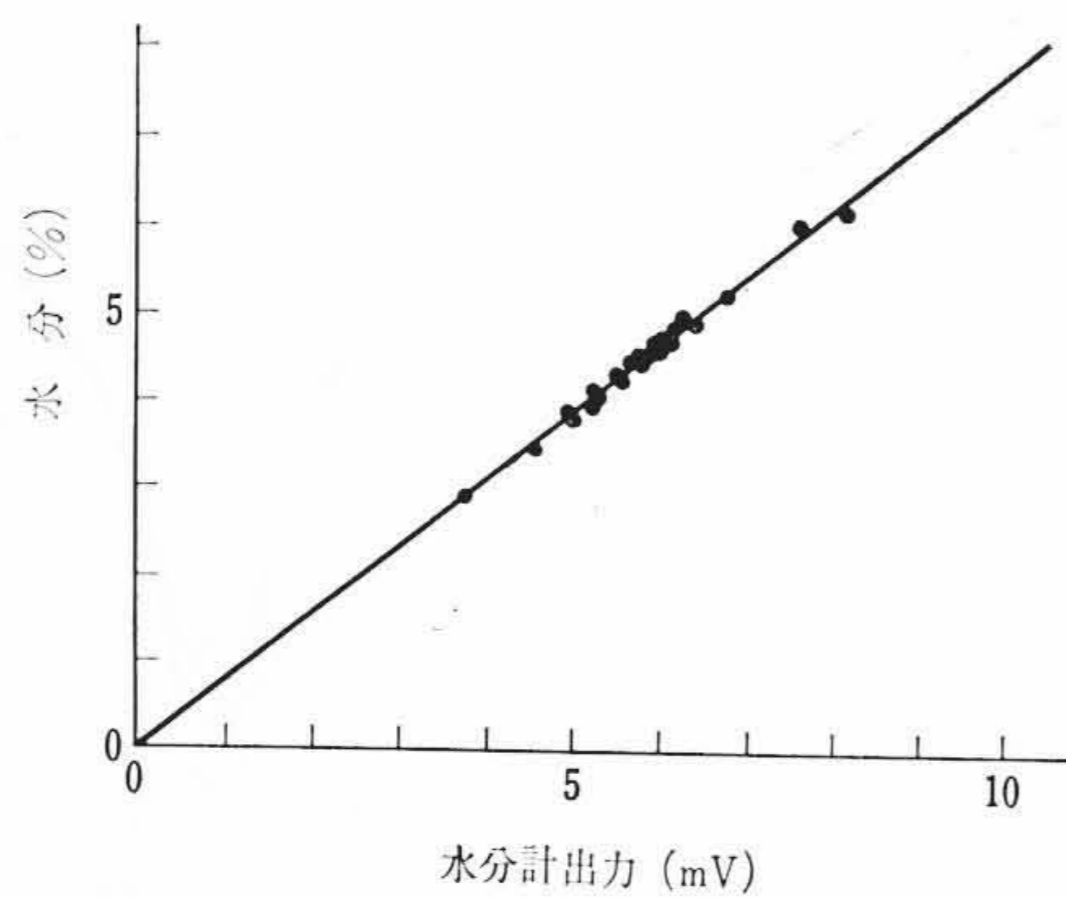
砂の流量が著しく変わる場合は均一化装置の上部部分を上下すればよく砂がきわめて少なくならない限り鑄物砂の表面の均一性は保たれ、電気回路の調整を変えずに連続的に測定できる。

3.4 鑄物砂水分の測定

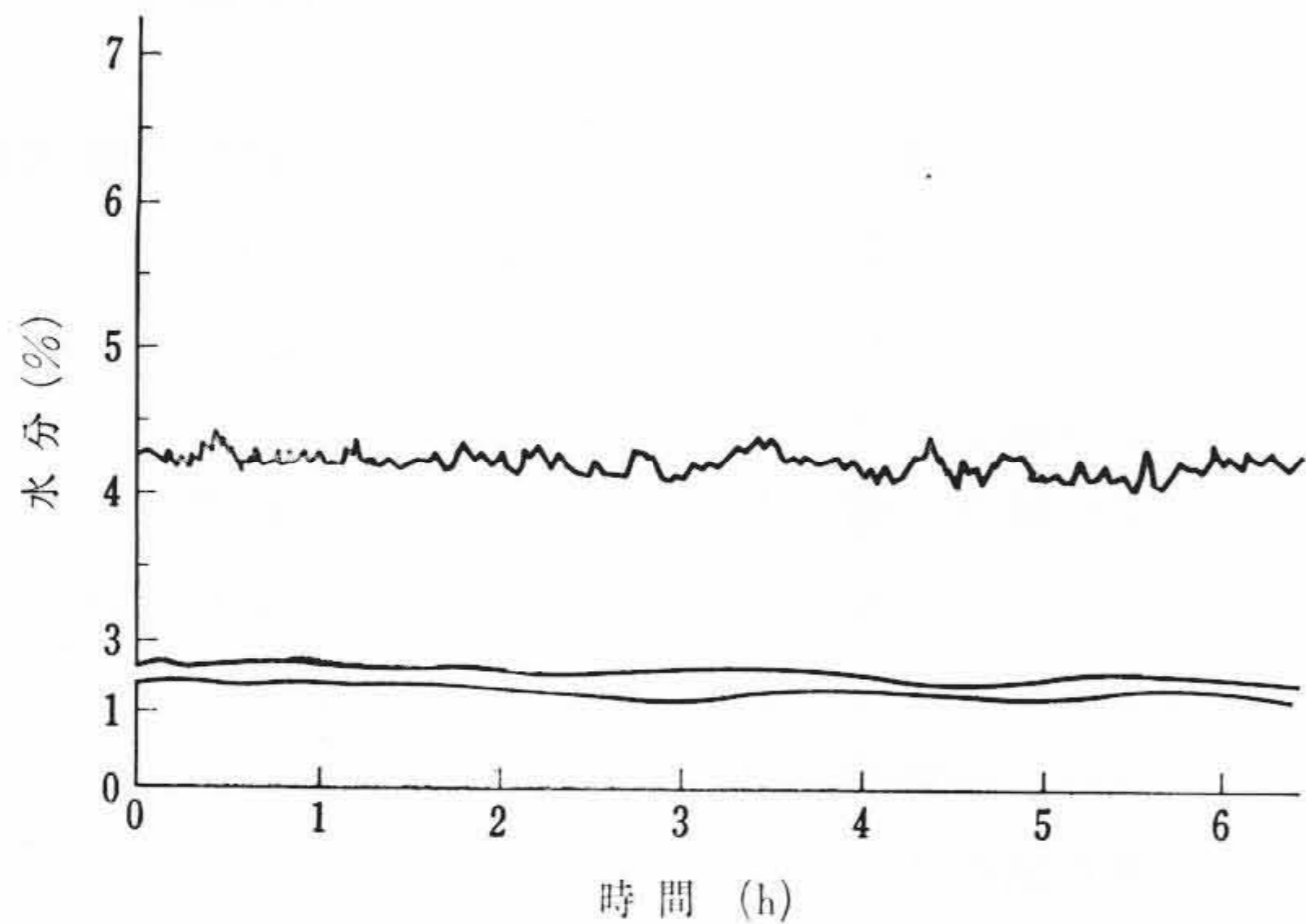
連続混練機の後方にあるオーバヘッドコンベヤ上に第11図に示すように均一化装置を設置する。I B回路を用いた水分計の出力と乾燥法による水分との関係は第12図に示すとおりである。4%で



第11図 オーバーヘッドコンベヤ上に設置された均一化装置



第12図 水分計出力と水分の関係



第13図 実際の水分記録

±0.15%の測定精度である。また連続記録の結果を第13図に示す。

4. 鋳物砂水分計の使用の効果

本装置は昭和37年に完成し、連続式混練機に設置して本装置の指示および記録計により作業員が水の添加量を加減して鋳物砂の水分を調節した。この結果、下記の効果を得た。

4.1 人間の感覚によらない測定

従来は「にぎり」による作業者の感覚によっていたが、計器により水分が表示されるようになり、個人差および熟練度によるバラツキがなくなり、作業者の疲労が減少した。

4.2 連続的に刻々水分が表示されている

「にぎり」による場合には、常に作業者は混練中の砂を採取して管理しなければならない。また従来の乾燥法あるいはカルシウムカーバイト法などの機器を用いて測定していた場合には時間がかかり、タイムラグがでていたが、本法によれば水分計は連続的に刻々表示

第3表 HS式鋳物砂水分計の使用による効果

水分	項目	設置前 (A)	鋳物砂水分計設置 (B)	(B)/(A)
		\bar{x}	4.25 %	
抗 圧 力	\bar{x}	0.74 kg/cm ²	0.76 kg/cm ²	
	s	0.035	0.021	60 %
通 気 度	\bar{x}	90.3	90.9	
	s	5.0	3.2	64 %

第4表 HS式鋳物砂水分の使用による不良率の減少

項目	設 置 前	鋳物砂水分計設置
吹 れ	100	67
型 壊 れ, 砂 入	100	82

記録されているために、その指示により、作業者は安心して添加水量を調節することができるようになった。またすべての水分変動を記録として残すことができるようになった。

4.3 砂の性質のバラツキがなくなった

鋳物砂水分計を取付けて作業者が調節する方式により、水分、抗圧力、通気度のバラツキが35%以上低下することができた。これを第3表に示す。

4.4 歩留りの向上

鋳物砂水分計の採用前と採用後の砂に起因する不良を比較するために設置前を100として、設置後の不良率の減少を第4表に示す。この不良低減に水分計がどのくらい貢献したかということは確実なデータはないが、砂の性質が安定したこと、そのため不良対策が非常にやりやすくなったことは事実である。

5. 結 言

HS式鋳物砂水分計を製作した。本機の特徴は

- (1) コンベヤ上の鋳物砂の水分を連続的に測定できる。
- (2) 均一化装置の採用により、鋳物砂の均一性が得られ測定精度も向上し、測定範囲も0~7.5%と広い。
- (3) IB回路の使用により、電気伝導度の影響を除去し、砂の温度、添加物の影響を受けないで測定できる。
- (4) 水分4%において±0.15%の精度である。
- (5) 鋳物砂水分の自動調節に用いることができる。

本装置の研究は、日立金属工業株式会社、国際電気株式会社の協調により行なわれたもので、われわれは各方面から賜わったご援助に対し厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 坂井：日立評論 40, 1251 (1958-10)
- (2) H. J. Dietze: Giessereitechnik: 7, 68 (1961-3)
Giessereitechnik: 7, 109 (1961-4)
- (3) 星合：電気式水分計 日刊工業新聞社 (昭和35年)
- (4) E. B. Огарков: Литейное Производство 12 (1961-4)
- (5) Г. Н. Слободни: Литейное Производство 28 (1961-10)
- (6) R. G. Godding, D. Bird: BCIRA Report No. 713
- (7) 石松：計測 11, 451 (1961-8)
- (8) J. R. Templeman: Nondestructive Testing: 188 (1961-may-June)
- (9) H. A. Burley, M. J. Diamond: Nucleonics 19, 45 (1961-8)
- (10) H. A. Burley, A. D. Block, M. J. Diamond: Metal Industry, 18, 122~124 (1961-8)
- (11) 一条文二郎：日本国特許 No. 258303, 285082, 米国特許 2906950, 英国特許 856586