

東海製鉄株式会社納 220t 混鉄車

220 t Hot Metal Mixer Cars for Tokai Iron & Steel Co., Ltd.

石田周二* 中尾彰一* 高山雅幸*
 Shuji Ishida Shoichi Nakao Masayuki Takayama

要 旨

日立製作所は大同製鋼株式会社とドイツ GHH 社の技術提携に基づいて、東海製鉄株式会社へ混鉄車およびその制御設備一式を納入した。この混鉄車は溶鉄の積載量 220 t で 12 軸を有し、軸重は最大 37.5 t に達するものである。

この混鉄車には、炉体を偏心させたとき停電しても自動的に復帰すること、復帰の過速度に対して注意を払っていることなど、安全に対して種々の考慮が払われているほか、傾動装置、心皿などに特長をもっている。本文はその概要について述べている。

1. 緒 言

従来、わが国の製鉄所における溶鉄の運搬方法は溶鉄鍋台車によるものが多かった。これは高炉より溶鉄鍋台車に溶鉄を受けて製鋼工場まで運搬し、それを混鉄炉に貯留したのち製鋼炉へ供給する方式である。ところが最近ではこの方式にかわって、混鉄車を使用し、高炉より溶鉄を混鉄車に受けて運搬し、混鉄炉を使用しない方法が多くなった。

混鉄車は図 1 に示すように両端が円すい形になった円筒形の炉体を有し、この中央上部に炉口を有しているので、上部が完全に開いている鍋車に比べると、保温能力が高く、また重心を低くできるので構造上容量を大きくすることができるのが特長である。したがって混鉄車を使用すると溶鉄の運搬およびその使用を合理化することができる。このため欧米では古くから使用されており、わが国でも最近建設される製鉄所では混鉄車方式によるものがほとんどである。

日立製作所は、このたびこの混鉄車の製作に多年の経験を有するドイツ GHH 社 (Gutehoffnungshütte sterkrade Aktiengesellschaft) と大同製鋼株式会社の技術提携に基づいて東海製鉄株式会社へ 220 t 積混鉄車 4 両とその制御用地上設備一式を納入し、さらにその後、混鉄車を 1 両追加納入した。これらの概略について述べる。

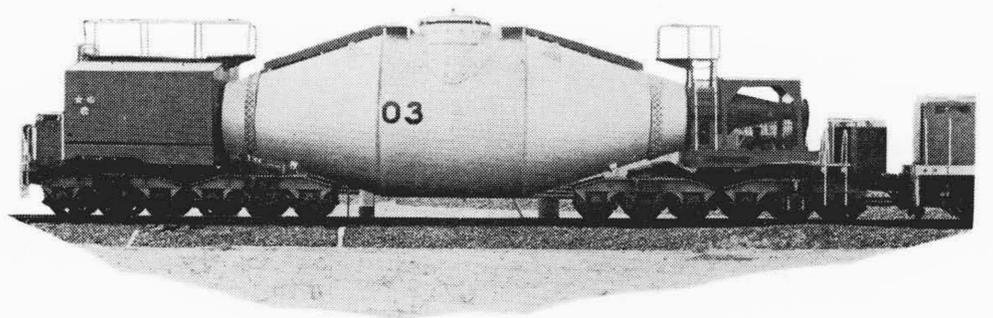


図 1 220 t 混鉄車

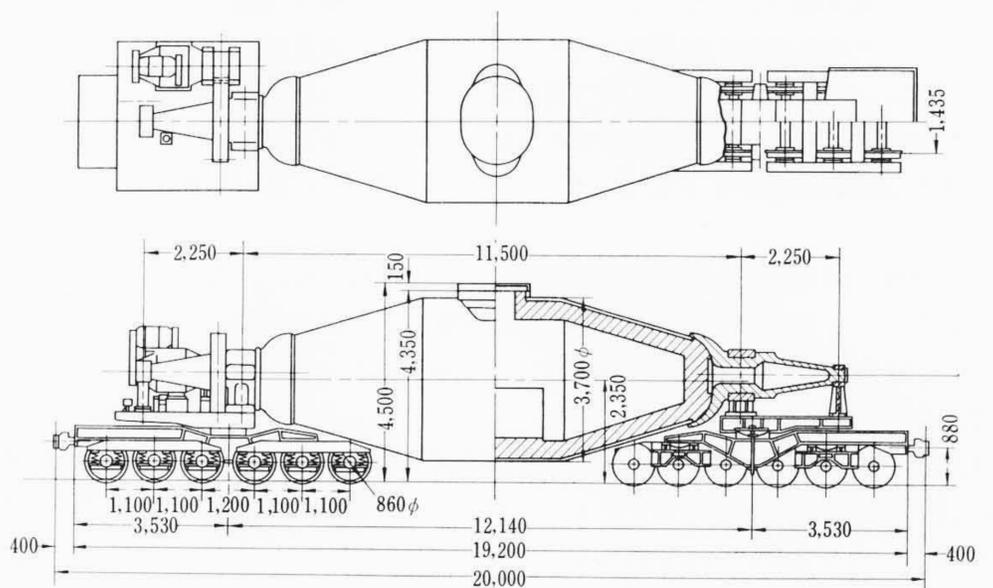


図 2 220 t 混鉄車寸法図

2. 混鉄車の構造

220 t 混鉄車の構造を図 2 に、その主要目を表 1 に示す。溶鉄を貯留する炉体は鋼板を溶接して、その両端に鋳鋼製トラニオンをリベットで取りつけたもので、内部に耐火物を張るようになっている。溶鉄の積載量は耐火物が新しいときは 220 t、耐火物が消耗したときは 250 t であって、このとき軸重は 37.5 t となる。

炉体はその回転軸に対し、偏心を与えられており、傾動中に停電したときは、その偏心モーメントにより、自動的に復帰するよう考慮されている。

トラニオンの一方には傾動用の最終ギヤがはめこまれていて、これを電動機より減速装置を経て駆動し、炉体を回転して溶鉄を排出するものである。

トラニオンは両側ともそれぞれ 2 個の平軸受で支持され、その軸受を取り付けた軸受台は球面心皿によって、台車の中間台わく上に支持されている。

* 日立製作所水戸工場

表 1 220 t 混鉄車主要目

軌間	1,435 mm
自重	125 t (レンガ含まず)
積載荷重	220 t (レンガ新製時)
積載荷重	250 t (レンガ消耗時)
軸重 (最大時)	37.5 t
積載物温度	1,250~1,500°C
台車形式	3軸台車4組
連結器	柴田式上作用自動連結器
緩衝器	70 t 輪バネ
炉体傾動方式	電動機式
制御方式	遠方制御方式
電動機	3相 AC 440V 60~15 kW
傾動速度	0.2 rpm
操作回路	単相 AC 100V 60~および DC 100V

台車は 2 組の 3 軸台車へ中間台わくを渡し、その中央に球面心皿を置いたもので、連結器は中間台わくに取り付けられている。

3 軸台車はウイングバネ式の軸箱を有し、円すいころ軸受を使用している。バネはコイルバネで、台車わくは鋼板溶接構造である。

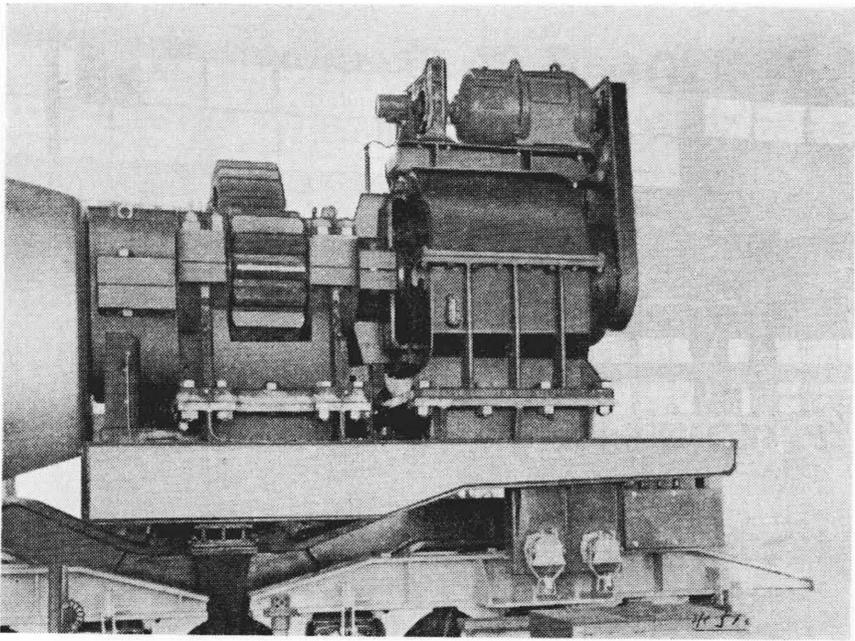


図3 傾動装置

この種の車両では全長を短くするために、軸距はできるだけ小さいことが望ましいが、このような台車の構造を採用することにより、3軸台車の固定軸距は2,200mmと極力小さくなってある。

3軸台車の心皿は普通の平面心皿であって、中間台わく上の心皿とは異なるが、この理由については次章で述べる。

溶銑を排出するために炉体を回転させる傾動装置があり、これは、巻線形誘導電動機と減速装置より成っている。この減速装置は、全体で4140の高減速比であって、その大部分は遊星歯車を3段に組み合わせた減速機によっている。この減速機は日立製作所亀有工場で、混銑車の使用条件を考慮して大トルク用として設計製作されたものであって、その内部の3組の遊星歯車はギヤカップリングを用いて保持されており、歯車荷重の不等配分を防止するとともに、取付時の心狂いを防ぐようになっている。図3は傾動装置の外観である。

電動機出力軸と反対側に直流電磁ブレーキを取り付け、蓄電池で動作するようになっているが、これは停電のときに自動的にブレーキをゆるめて、炉体を適当な角度だけ復帰させるようにするためである。

車上の電気機器、制御器と地上の制御装置との接続は、操作場所に設けられた栓スタンドよりキャブタイヤケーブルで、電気連結器を接続することにより行なわれる。

混銑車には、トラニオン軸受、ピニオン軸受、心皿など潤滑を必要とする箇所があるが、保守を容易にするため、集中グリース潤滑装置を使用している。潤滑ポンプの駆動は炉体の回転より取り、傾動時に各部に給油するようになっている。

3. 制御装置

炉体の傾動操作は地上に設備された制御装置によって行なわれる。この装置は転炉工場、高炉、粒銑機場、ノロ捨て場の4個所に設けられている。この制御方式の特長をあげるとつぎのようになる。

- (1) 電動機には巻線形を用い二次抵抗を加減して速度制御を行ない、制御設備をすべて地上においている。
- (2) 電磁ブレーキは、浮動充電されているDC100V蓄電池を電源としており、停電の場合にも動作できるようにしてある。
- (3) 炉体の回転に対してリミットスイッチを設け、120度傾動すると自動的に停止し、傾動後復帰させるとき、中立点より5度行きすぎると自動的に停止する。
- (4) 混銑車から溶銑を受ける秤量鍋台車が定位置にいないと傾動できないようにしてある。

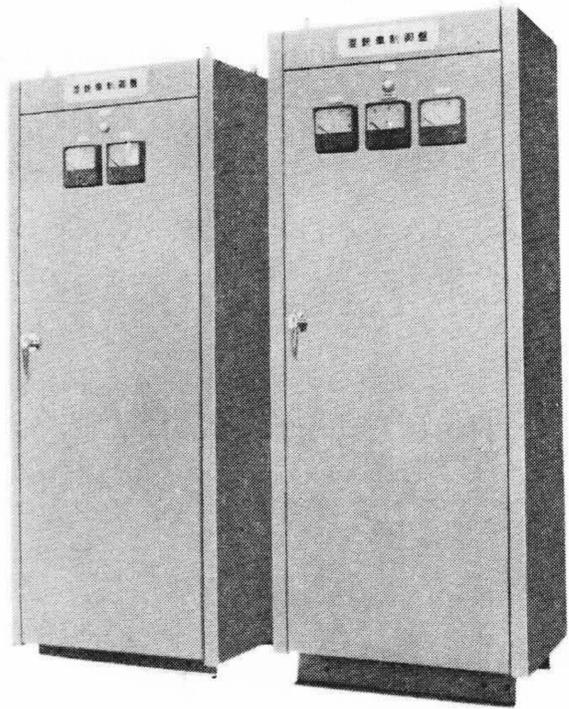


図4 混銑車制御盤

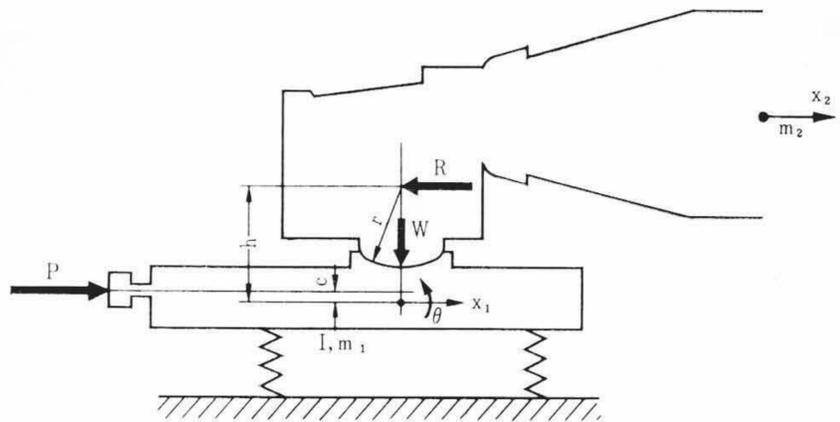


図5 車端衝撃による力

- (5) 傾動操作中に停電したときは、自動的にブレーキをゆるめ、炉体の偏心モーメントにより復帰させる。このときブレーキをゆるめたままでは場合により電動機が過速度になるので、タイマーを用い、ブレーキをかけている時間とゆるめている時間をあらかじめ設定しておき、それによって復帰させるようにしてある。
 - (6) これとは別に過速度スイッチを設けてある。
- おのおのの場所の制御装置はほぼ同様であるが、使用目的に応じてリミットスイッチ回路に少し相違があり、かつ停電時自動復帰装置のつかないものがある。図4に制御盤の一例を示す。

4. 球面心皿の効果

さきに述べたように、この混銑車では、炉体および傾動装置を中間台わく上に支持するのに球面心皿を用いている。この目的はつぎのとおりである。

- (1) 線路に高低差があったとき、心皿が片当たりしたり、輪重がアンバランスにならないようにする。
- (2) 炉体にはある程度の心狂いがあるが、これが回転したとき各部に無理が生じないようにする。
- (3) 大きな車端衝撃を受けたとき炉体の受ける力を小さくする。

などである。(1)(2)については普通の車両の場合の議論と同じであるが、ここでは(3)について理論的に検討してみる。

混銑車を図5のように考えて、炉体と中間台わく(連結器が取り付けられている)で代表し、3軸台車はバネでおきかえ、その質量は中間台わくの質量の中へ含める。連結器へ車端衝撃が加わったと

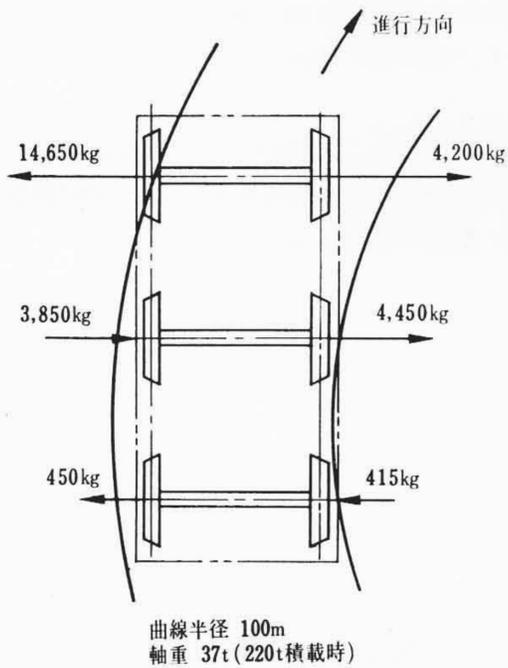


図6 横圧計算結果

きは、その力は一部分は炉体へ伝わるが、その力のために球面部で滑って、中間台わくが動く。この場合の運動方程式を心皿の摩擦も考慮して書くと(1)のようになる。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -R + P \\ m_2 \ddot{x}_2 &= R \\ I \ddot{\theta} &= Rh - k\theta - \mu Wr - Pc \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 x_1 : 中間台わく重心の変位
- x_2 : 炉体重心の変位
- θ : 中間台わくの回転変位
- P : 車端衝撃による力
- R : 炉体より中間台わくに働く力
- r : 球面心皿の球面半径
- μ : 球面心皿の摩擦係数
- m_1 : 中間台わくと台車の質量
- m_2 : 炉体の質量
- I : 中間台わくの重心まわりの慣性モーメント
- c : 中間台わく重心より連結器までの高さ
- h : 中間台わく重心より球面中心までの高さ
- k : 台車のバネにより θ に対して生ずる復元モーメントのバネ定数

また幾何学的に(2)が成立する。

$$x_1 - x_2 = h\theta \dots\dots\dots (2)$$

これらの方程式を用い、初期条件を

$$t=0 \text{ で } \begin{aligned} x_1 &= x_2 = \theta = 0 \\ \dot{x}_1 &= \dot{x}_2 = \dot{\theta} = 0 \end{aligned}$$

として解き、結果を R について示すと

$$R = \frac{m_2(IP + \mu Wrhm_1 + chm_1P)}{(m_1 + m_2)I + m_1m_2h^2} \cos \omega t + \frac{P}{m_1 + m_2} (1 - \cos \omega t) \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $\omega = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)k}{(m_1 + m_2)I + m_1m_2h^2}}$

である。衝撃が加わった瞬間を問題にして(3)で $t=0$ とおくと(4)が求まる。

$$R_{t=0} = \frac{m_2(IP + \mu Wrhm_1 + chm_1P)}{(m_1 + m_2)I + m_1m_2h^2} \dots\dots\dots (4)$$

車端衝撃 P を 150 t とし、 $W=175$ t、 $\mu=0.1$ 、 $m_1=2.45$ kg s²/mm、 $m_2=35.6$ kg s²/mm とし、その他の寸法を入れて計算すると、 $R=93$ t となる。もし球面のかわりに平心皿で直接に力を伝えると

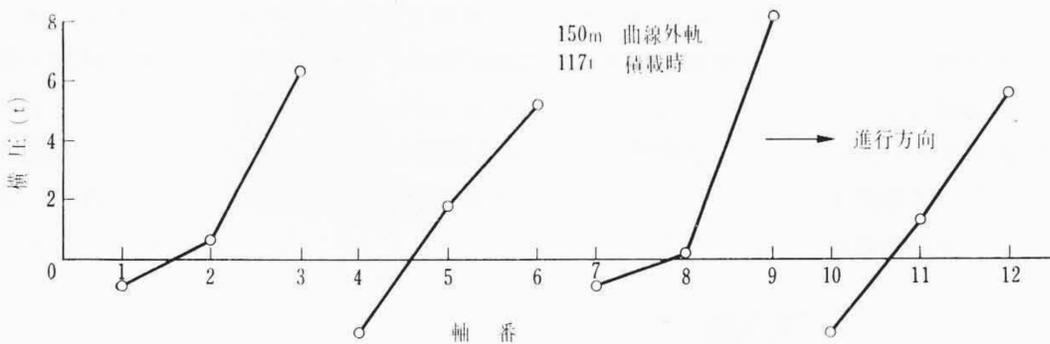


図7 横圧測定結果

$$R = P \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 134 \text{ t}$$

となって、ほとんど全部が炉体へ伝わってしまう。したがって球面心皿はこの面でも炉体に無理をかけないようにしていることがわかる。

5. 曲線通過時の横圧

軸重の大きい車両の場合には、小さい曲線を通過するとき軌道に与える横圧は重要な問題である。一般に横圧はそれと車輪踏面荷重に対する比(いわゆる脱線係数 Q/P)が脱線に対して問題になるとともに、横圧の値そのものが、軌道の横強度に対して検討されなければならない。脱線係数は軸重にあまり関係がないので、いま問題となるのは、横圧の値と軌道横強度の問題である。

この混銑車の3軸台車は、軌間が、1,435 mm と大きいのに対し、軸距は 2,200 mm と一般の3軸台車にくらべて、はるかに小さく、レールとの切り合い角は小さいが、横圧は大きくなる。

この横圧を計算した結果が図6である。軸重 37 t、曲線半径 150 m、踏面摩擦係数 0.25、遠心力はカントとつりあっているとし、心皿の摩擦係数を 0.15、側受の摩擦係数を 0.2 として、それらの抵抗は考慮してある。

これに対してレールの底部にひずみゲージをはって横圧を実測した結果の一例を図7に示す。これは 117 t の溶銑を積んで 150 m 曲線を通過したときの測定値である。横圧は測定の際にかなり相違しばらつきが多いが、これはそのうちで大きな値を示した例で、ここでの横圧は満載時で大きくても 8~10 t と考えられる。

これから見られるように、横圧でもっとも問題となるのは、先頭軸外軌側の横圧であるが、計算と実測を比較すると、実測のほうがかなり小さい。これは仮定した踏面摩擦係数 0.25 が実際より大きかったということも考えられるが、もう一つの理由として、先頭軸外軌への大きな横圧のために、レールが局部的に弾性変形して、第2軸の横圧が緩和され、したがって先頭軸の横圧が小さくなったということが考えられる。図6と図7を比較して、第2軸外軌道側の横圧がかなり相違するのはこのためであろう。

なお、これらの結果により、3軸台車の中間軸に大きな横動を許す構造にすれば、横圧がかなり減ることが期待されるので、追加納入した1両は中間軸の軸箱部に特殊な構造を採用して大きな横動を与え、横圧の減少をはかっている。

6. 自動復帰

この混銑車では炉体に偏心を与え、停電のときは自動的にブレーキをゆるめ、偏心モーメントにより復帰させるようになっている。軸受部などに摩擦があるため、復帰できる角度にはある範囲があり、計画上は溶銑を積載した状態では 30~120 度傾動した状態から復帰できる。実際の結果ではばらつきがややあるが、ほぼ期待した結果が得られている。

自動復帰を円滑に行なわせるためには、各部の摩擦をできるだけ

減らすことが必要で、混銑車の減速装置によく使用されているウォーム減速機では逆まわしの摩擦が大きくて問題がある。摩擦が大きいと結局偏心量を大きくせねばならないことになるが、この偏心量は傾動トルクにきわめて大きな影響を与え、減速装置が大きくなる。

したがって摩擦をできるだけ小さくすることが必要で、今後この点には十分注意を払う必要がある。

7. 結 言

本文に述べたように、220 t 混銑車およびその制御設備は GHH 社

の実績に基づいて製作され、現在好調に稼動中である。今後さらに使用経験を採り入れて、わが国の製鉄所に適した混銑車の開発に努力したい。

この混銑車の製作に当たり、ご指導いただいた東海製鉄株式会社小川課長、古賀掛長、富士製鐵株式会社宮嶋課長、大同製鋼株式会社山下次長、茅原氏に深甚の謝意を表す。

Vol. 48 日 立 評 論 No. 6

目 次

■論 文

- 循環電流抑制式逆並列接続 SCR 静止レオナード装置
- 昭和電工株式会社 16,000 kW 発電設備の概要
- インドヒンダスタンスチール会社ドルガプール納特殊鋼分塊および棒線材圧延設備
- エスカレータにおける無騒音構造の研究とその成果
- ナフサ分解によるアセチレン・エチレン製造プロセスの実験的研究
- 新幹線軌道試験車用データ処理装置
- 日本電信電話公社藤沢局、新宿局納 C-63 形クロスバ交換機

- ボトルクーラの冷却特性
- 電磁流量計用伝送器
- 送電線温度テレメータの開発

■火力・原子力発電特集

- 火力・原子力発電機器の動向
- 超臨界圧ボイラプラントについて
- 蒸気タービン長翼の振動と効率
- 原子力タービンの開発状況
- 火力発電所の制御方式
- 大形沸騰水原子力発電所自動制御系の特性解析

発行所 日 立 評 論 社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地
 振替口座 東京 71824 番
 取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 振替口座 東京 20018 番

第 28 卷 日 立 第 5 号

目 次

- 動いてやまぬ街
- 工業デザインの話
- 電気火災よさらば
- 蒸気で冷やす? 吸収式冷凍機
- 温泉を運ぶ夢のパイプ
- 進む炭鉱の水力利用
- ブルドーザも受験生

- トピック 2 台目の電話機
- 成果のかけにビデオでどおぞ
- 話のロビーせんたく物語
- ハイライト 東京の給水能力を倍にする
- 随筆 ビデオでどうぞ 高橋圭三
- サイエンスジョッキー 水の味
- ニュ

発行所 日 立 評 論 社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地
 振替口座 東京 71824 番
 次取店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 振替口座 東京 20018 番