

各種高速度鋼の炭化物と切削耐久力について

Study on the Carbides and Cutting Durability of High Speed Steels

小柴 定雄*

Sadao Koshiba

木村 伸**

Shin Kimura

原田 英樹**

Hideki Harada

内 容 梗 概

5種類の高速度鋼における焼鈍ならびに焼入焼戻組織の炭化物を電解分離法によって分離定量し、炭化物量およびその化学組成、各種炭化物の組成比などを究明し、切削耐久力との関係を明らかにした。

焼鈍高速度鋼における炭化物量は20~30%で、鋼中のW量に比例して炭化物量を増大する傾向をしめし、いずれの高速度鋼においても M_6C 、 $M_{23}C_6$ および MC の3種類の炭化物が存在しており、 M_6C が主体である。

また各種高速度鋼をそれぞれ最適の温度で焼入したのち、575°Cで焼戻した試料の炭化物量は15~24%で、この炭化物は焼鈍時と同様に M_6C が主体をなし、X1、X00 および X000 鋼では M_6C のほかに MC が若干存在するが、HX2 鋼では M_6C のみであり、XM1 鋼では M_6C 、 MC のほかに $M_{23}C_6$ も少量存在している。

なお575°Cで焼戻した前述各種高速度鋼の切削耐久力はX000 鋼が最高値をしめす。Co を含有する試料は切削耐久力が大きく、炭化物量、特に MC 炭化物量の多いほど切削耐久力を増大する傾向をしめし、 MC の存在および Co の基質への固溶などが切削耐久力に大きな影響を及ぼす。

第1表 試料の化学成分

料 試	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co
X 1	0.80	0.21	0.29	0.017	0.003	0.06	4.18	10.91	0.16	1.79	—
X 00	0.83	0.14	0.49	0.024	0.004	0.05	3.90	12.24	0.23	1.82	4.35
X000	0.79	0.20	0.48	0.012	0.003	0.01	3.79	16.10	0.19	1.71	9.70
HX2	0.79	0.16	0.29	0.018	0.005	0.08	4.06	17.88	0.51	0.80	—
XM1	0.86	0.13	0.29	0.022	0.006	0.03	3.85	7.19	4.91	1.77	—

1. 緒 言

鋼中における炭化物の挙動が、鋼の諸性質に本質的な影響を及ぼすものであることは周知の事からで、近年にいたり、電解分離法によって鋼中の炭化物を単独に分離定量して、その挙動を究明する研究が行なわれてきた。高速度鋼における炭化物と諸性質との関係については Bain, Grossmann⁽¹⁾ 氏らが古くより研究し、また Kuo⁽²⁾⁽³⁾, Goldschmidt⁽⁴⁾あるいは Cohen⁽⁵⁾ 氏らはX線分析によって高速度鋼中における炭化物の構造などを研究しており、わが国においても佐藤教授ら⁽⁶⁾によって簡易電解分離法が報告され、これによって各種実用特殊鋼の炭化物について詳細なる研究がなされている⁽⁷⁾。しかし高速度鋼中の炭化物はきわめて複雑であり、その諸性質との関係を究明するためには、さらに多くの研究が必要である。

著者らは、各種高速度鋼について熱処理と炭化物の挙動を究明する目的で、各種熱処理を行った高速度鋼の炭化物を電解分離し、炭化物量および化学組成をたしかめ、X線回析、電子顕微鏡によって、その構造あるいは形態などを究明した⁽⁸⁾。

本研究では、さらに各種高速度鋼について、焼鈍ならびに焼入焼戻組織における炭化物の量と化学組成ならびに各種炭化物の組成比と、著者の一人が数年来続行している各種高速鋼の切削耐久力に関する研究^{(9)~(14)}とによって炭化物と切削耐久力との関係を検討した。以下にその詳細を述べる。

2. 試料および実験方法

2.1 試 料

実験に供した高速度鋼試料の化学成分を第1表に示す。

2.2 熱 処 理

上記試料の熱処理条件を次に示す。

試 料:	焼鈍温度	焼入温度	焼戻温度
X 1:	860~870°C	1,270°C	575°C
X 00:	880~890°C	1,280°C	575°C
X000:	890~900°C	1,300°C	575°C
HX2:	860~870°C	1,280°C	575°C
XM1:	870~880°C	1,250°C	575°C

2.3 炭化物の電解分離

前述の各熱処理試料を10mmφ×80mmに仕上げ、表面研磨し、ベンゾールで洗浄したのち、表面積、重量を測定して、これを電解試料とした。

炭化物の電解分離法としては、電解液として中性のクエン酸ソーダ溶液を使用する、いわゆるP. Klinger, W. Koch氏⁽¹⁵⁾の装置があるが、分離後の炭化物の收拾がやっかいであり、本研究では佐藤教授らの使用された装置⁽⁶⁾とほぼ同様な装置を用い、塩酸法によった。つぎに

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

** 日立金属工業株式会社安来工場

第2表 炭化物および基質の化学組成 (焼鈍状態)

試料	熱処理温度 (°C)	炭化物量 (wt%)	炭化物の組成 (%)						基質の組成 (%)					
	焼鈍		C	Cr	W	Mo	V	Co	C	Cr	W	Mo	V	Co
X 1	860~870	20.21	4.01	10.88	49.10	0.50	7.72	—	—	2.48	1.24	0.08	0.29	—
X 00	880~890	21.75	3.88	8.53	52.55	0.68	7.14	1.08	—	2.35	1.04	0.10	0.35	5.25
X000	890~900	26.44	3.06	8.12	59.90	0.46	5.32	2.70	—	1.96	0.35	0.10	0.45	12.20
HX2	860~870	30.00	2.63	10.37	57.25	1.35	2.17	—	—	1.36	1.00	0.14	0.21	—
XM1	870~880	22.85	3.78	9.85	29.75	19.40	5.36	—	—	2.07	0.51	0.62	0.32	—

第3表 炭化物および基質の化学組成 (焼戻状態)

試料	熱処理温度 (°C)		炭化物量 (wt%)	炭化物の組成 (%)						基質の組成 (%)					
	焼入	焼戻		C	Cr	W	Mo	V	Co	C	Cr	W	Mo	V	Co
X 1	1,270	575	14.46	4.64	8.79	46.05	0.58	6.38	—	0.15	3.40	4.97	0.09	1.02	—
X 00	1,280	575	17.54	4.13	7.26	48.30	0.68	5.87	1.31	0.13	2.95	4.57	0.13	0.96	5.00
X000	1,300	575	20.99	3.38	5.02	50.10	0.50	4.91	3.43	0.10	3.21	7.06	0.10	0.86	11.37
HX2	1,280	575	23.54	3.03	6.60	54.93	1.38	1.97	—	0.10	3.28	6.47	0.25	0.44	—
XM1	1,250	575	17.67	4.19	7.19	28.52	20.52	3.91	—	0.15	3.13	2.61	1.55	0.95	—

電解条件を示す。

電解条件

電流密度: 10mA/cm²

電解液: 0.2 NHCl+5%クエン酸溶液

電解時間: 20~50時間

また分離した炭化物は、アルカリ処理をおこなって、ゲル状となって炭化物に混入するおそれのある珪酸塩などを除去し、アルコール洗浄したのち、真空乾燥して以後の実験の試料とした。

2.4 炭化物の化学分析

電解抽出して真空乾燥した粉末状炭化物を化学分析した (分析方法省略)。

2.5 炭化物のX線回折

粉末状炭化物のX線回折は、日立製作所中央研究所のNorelco X線回折装置⁽¹⁶⁾を使用して炭化物の種類およびその組成比の変化を追求した。

3. 実験結果および考察

前述の実験方法にしたがい各種高速度鋼の各熱処理試料から電解抽出した炭化物を、化学分析およびX線回折してその化学組成などを究明し、切削耐久力との関係を検討した。

3.1 炭化物の化学分析結果

電解分離してえた炭化物の化学分析結果ならびにこの化学組成から算出した基質の化学組成を示すと第2表および第3表のとおりである。

第2表は、各種高速度鋼の焼鈍組織における炭化物の化学組成ならびに基質の化学組成であり、同じく第3表は焼入後575°C焼戻組織における化学組成であって、各組織における各合金元素の炭化物への濃縮率⁽¹⁷⁾を示すと第4表および第5表のとおりである。

第4表 各種元素の炭化物への濃縮率 (%) (焼鈍状態)

試料	Cr	W	Mo	V	Co
X 1	52.61	90.95	63.13	87.15	—
X 00	50.14	93.38	64.35	85.33	5.40
X000	59.81	98.37	64.21	80.88	7.36
HX2	76.63	96.06	79.41	81.38	—
XM1	58.47	94.55	90.29	83.27	—

第5表 各種元素の炭化物への濃縮率 (%) (焼戻状態)

試料	Cr	W	Mo	V	Co
X 1	30.41	61.03	52.42	51.54	—
X 00	34.42	69.21	51.86	56.57	5.28
X000	29.25	65.34	55.26	60.23	7.42
HX2	38.18	72.32	62.75	57.50	—
XM1	32.99	70.10	73.93	46.94	—

第2表の結果から、焼鈍した各高速度鋼の炭化物量は約20~30%存在し、C量がほぼ同一の場合、炭化物を形成しやすいWの含有量が高い試料ほど炭化物量が多い傾向を示している。Mo高速度鋼(XM1)においても、W量は低いが、これとほぼ同様な性質を示すMoの含有量が高く、両者の和はX00鋼のW量と匹敵し、炭化物量も同程度存在しているので同様のことがいえる。

焼鈍状態における炭化物の化学組成については、Cは計算上全部炭化物を形成して存在し、2.6~4.0%の組成で、炭化物形成元素であるW, Cr, Mo, Vなどが化学組成の主体をなしている。特にWは、第4表に示すとおり90%以上が炭化物中に存在し、炭化物の組成中の50~60%を占め、炭化物はFe, Wの複炭化物が主体であることがうかがえる。またV, Moも同様に大部分が炭化物を形成しているが、CrではFe-C-Cr鋼の場合には、90%以上の濃縮率を示し⁽⁶⁾、炭化物を形成しやすい元素であることが想像されるが、高速度鋼においては上記の

第6表 炭化物のX線分析結果(焼鈍状態)

炭化物	試料	X 1	X 00	X 000	HX 2	XM 1
M_6C		82	83	83	94	86
$M_{23}C_6$		12	11	10	5	6
MC		6	6	7	1	8

第7表 炭化物のX線分析結果(焼戻状態)

炭化物	試料	X 1	X 00	X 000	HX 2	XM 1
M_6C		94	94	94	100	90
$M_{23}C_6$		0	0	0	0	3
MC		6	6	6	0	7

W, Mo, V など炭化物をつくりやすい元素の影響をうけるためか, 50~70%が炭化物を形成するにすぎない。さらに Co は, ほとんど基質に固溶しており, 従来から炭化物を形成せず基質に固溶して炭素の基質への固溶度を高めるといわれていたが, この Co は Fe と同様な性質を示すことから最近では少量の炭化物 (たとえば W との複炭化物 Co_4W_2C) をつくるようであるともいわれている⁽¹⁸⁾。本実験でも前述のごとく炭化物中に Co が約 5% 存在している。

つぎにこれら各焼鈍高速度鋼を各温度で焼入したのち 575°C で焼戻した場合の炭化物量は, 第 3 表 に示すごとく 15~24% 存在し, これは一部既報⁽⁸⁾のごとく, 焼入によって焼鈍状態の炭化物量の約 60% が基質に固溶し, 約 40% が未溶解炭化物として残存しており, 焼戻温度の上昇とともに炭化物の析出量は増加し, 575°C 焼戻では焼鈍状態の炭化物の 70~80% 相当量が析出している。この析出の傾向はほぼ同一で鋼種による差異はなく, その化学組成もやはり W が主成分で W 含有量の 60~70% が炭化物に濃縮され, Mo, V は 50~70% が炭化物中に存在しているが, Cr は約 30% で, 575°C 焼戻組織では逆に基質に多く固溶している。なお Co 量は熱処理によってほとんど変化しない。

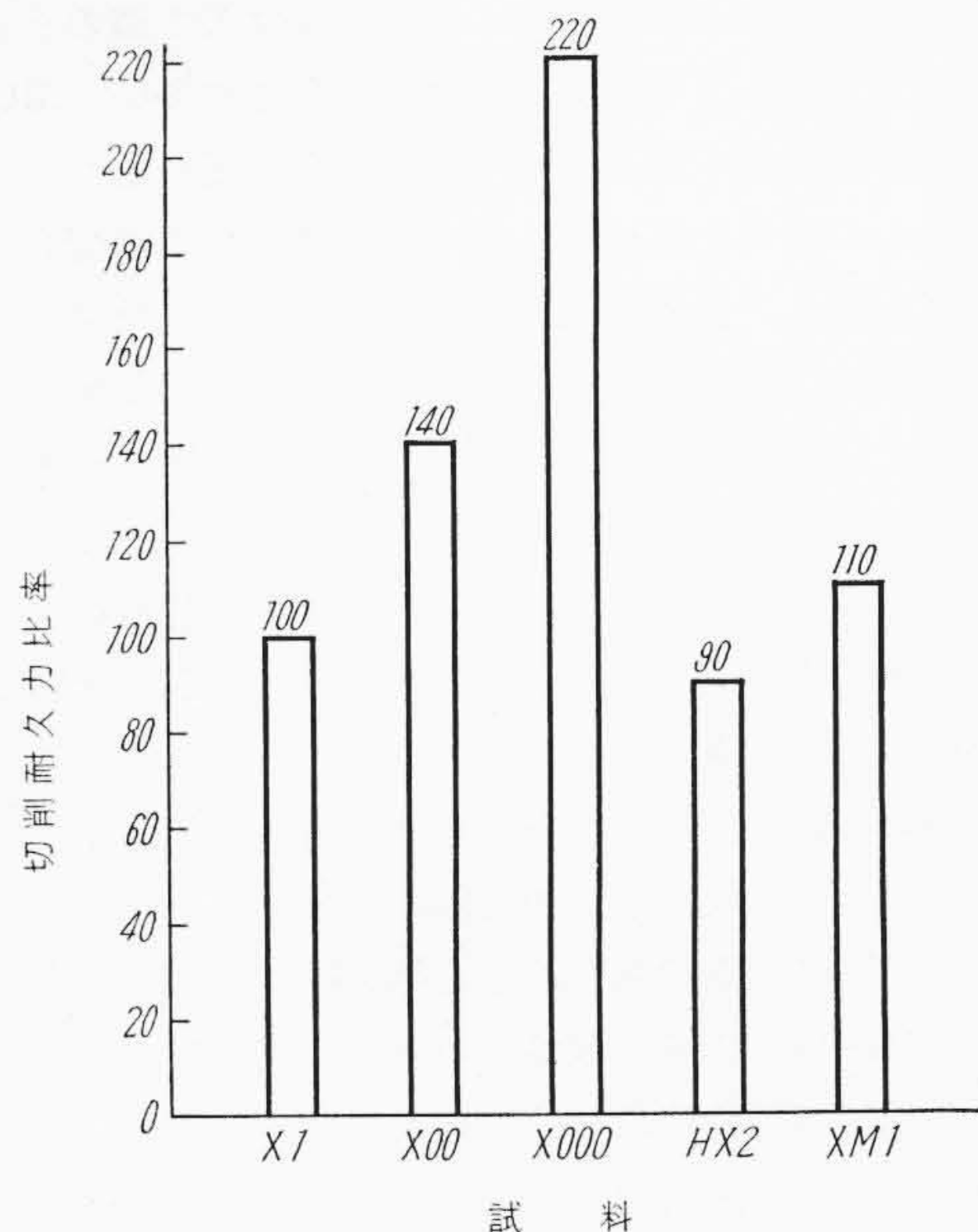
3.2 炭化物の X 線分析結果

粉末状炭化物の X 線回折した結果を示すと第 6 表 および第 7 表 のとおりである。

第 6 表 は, 焼鈍組織から分離した炭化物の X 線分析結果であり, いずれの高速度鋼においても, 焼鈍状態では M_6C , $M_{23}C_6$, MC の三種類の形の炭化物が存在し, Fe, W の複炭化物である M_6C が大部分を占めている。

高 W 高速度鋼 (HX 2) および Mo 高速度鋼 (XM 1) では Cr, Fe の複炭化物 $M_{23}C_6$ は 5% 程度であるが, ほかに高速度鋼では 10% 程度存在している。また V を多量に含有する MC 炭化物は HX 2 鋼では V 量低いため少量 (1%) であるが, ほかに高速度鋼では 6~8% 存在している。

なお第 7 表 は同様に 575°C 焼戻組織の炭化物の X 線分析結果で, やはり M_6C が主体であり, $M_{23}C_6$ 炭化物は



第1図 切削耐久力の比較

XM 1 鋼にのみ少量存在し, ほかに高速度鋼では認められなかった。これは $M_{23}C_6$ が熱処理によって変化しやすい炭化物で, 焼入によって基質に固溶し, 575°C 焼戻によってもなお析出していないものと考えられる。

また MC は, 高 W 高速度鋼 (HX 2) 以外のほかの低 W 高速度鋼 (X 1), 低 W-Co 高速度鋼 (X00), 高 W-高 Co 高速度鋼 (X 000) および Mo 高速度鋼 (XM 1) では 6~7% 存在している。しかし HX 2 鋼では M_6C のみでほかの $M_{23}C_6$, MC 炭化物はともにまったく見出されなかった。

3.3 切削耐久力と炭化物との関係

前述各種高速度鋼の 575°C 焼戻試料における切削試験結果^{(9)~(14)}をとりまとめ, 低 W 高速度鋼 (X 1) を基準とし, この切削耐久力を 100 とした場合の各種高速度鋼の切削耐久力の比較結果を第 1 図に示す。

第 1 図の結果から X 000 鋼が切削耐久力もっとも高く, HX 2 鋼が最低値を示している。いまこれら各種高速度鋼の切削耐久力の比較値と各種高速度鋼の化学成分あるいは前述の炭化物量およびその組成との関係を検討すると,

- (1) Co を含有する X 00, X 000 鋼は, Co を含有しない X 1 鋼に比較して切削耐久力が大であり, Co 量に比例し, また W 量, 炭化物量および炭化物中の MC 量にも比例する。
- (2) HX 2 鋼は X 1 鋼よりも切削耐久力は低いが, W 量は多く, 炭化物量も多い。しかし V 量低いため MC 炭化物は認められなかった。
- (3) XM 1 鋼は, X 1 鋼より切削耐久力はやや高い。

W量は低いMo量が高く両者の和はX1鋼のそれらよりやや高く、そのため炭化物量もやや多い。MC炭化物の量もX1鋼よりやや多く存在している。

これらの結果を総括すると、Coは基質に固溶して高温強度を増し、切削耐久力を高めるが、炭化物量の多いHX2鋼が、切削耐久力の低いことから、切削耐久力はW量および炭化物量には比例せず、むしろ結晶粒を微細化し、かつ高温硬度を高めるVの切削耐久力に及ぼす影響が大きいようであり、炭化物中に存在するMC炭化物の多い試料ほど切削耐久力が高い。またMoは炭化物の形成に対してWと同様の性質をもつとみなされる。

しかしこれらの結果は各元素の含有量あるいは炭化物量およびその組成比など相互間の影響が加味されたものであることは当然であり、また第1図は著者の一人が二十数年来続行してきた数多くの高速度鋼切削試験結果に基き、各切削試験時における被切削材、バイト形状、切削速度、切削方法などの諸条件を同一にした各種高速度鋼を抜粋し、各切削時におけるX1鋼の切削耐久力を基準として算出したものであり、切削試験諸条件はほとんど一定であるが、鋼種によって熱処理履歴を異にし、焼戻温度が一定であっても焼鈍あるいは焼入温度が若干異なり、それにともなう結晶粒度の大小、あるいは同一鋼種内における化学成分の若干の変動などの影響によって、いかなる場合においてもこの切削耐久力の比率がそのまま適用できるとは限らないが、大体の傾向としては是認できよう。

4. 結 言

以上五種類の高速度鋼について焼鈍組織および焼戻組織の炭化物を電解分離し、化学分析、X線回折によってその化学組成、炭化物の種類および組成比などについて究明し、切削耐久力との関係を検討した結果、

(1) 焼鈍高速度鋼における炭化物量はW量に比例し、かつMoはWと同様の作用をなす。また炭化物の化学組成はW, Mo, Vが主成分で、特にWを多量に含有しているが、Crは50~70%程度が炭化物中に存在し、Coはほとんど基質に固溶している。いずれの高速度鋼も M_6C , $M_{23}C_6$, MC三種類の炭化物が存在し、 M_6C がその主体をなしている。

(2) 各種高速度鋼の575°C焼戻組織における炭化物は、HX2鋼では M_6C のみであり、X1, X00, X000鋼では、 M_6C のほかMC炭化物も共存し、XM1鋼では、さらに $M_{23}C_6$ を少量析出している。

(3) 575°Cで焼戻した各種高速度鋼の切削耐久力は、X000鋼が最高値をしめし、X00, XM1, X1鋼の順序であり、HX2鋼が最低値をしめす。切削耐久力は、Co含有鋼が大きく、基質のCo量に比例し、W量あ

るいは炭化物量には相関性なく、炭化物中に存在するVの炭化物、MC量が大きな影響を及ぼすようである。

終りに本研究に終始協力された日立金属工業株式会社および安来工場冶金研究所、田中主任、菊田主任に謝意を表するとともに、御助力いただいた日立製作所中央研究所名誉所長菊田博士、同所光石主任その他関係各位に衷心より謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) Bain: Trans Amer. Soc. Steel Treat., 8, 14 (1925)
- (2) K. Kuo: J. I. S. I. 173, 363 (1953)
- (3) K. Kuo: J. I. S. I. 174, 223 (1953)
- (4) H. J. Goldschmidt: J. I. S. I. 170, 189 (1952)
- (5) M. Cohen, F. Kayser: Metal Progr. 61, 79 (1952)
- (6) 佐藤, 金子, 西沢: 日本金属学会誌 19, 336, 385 (1955)
- (7) 佐藤, 西沢: 鉄と鋼 41, 1188 (1955), 42, 1118, (1956), 43, 485, 1069 (1957), 44, 146, 414, 565, 1378 (1958)
- (8) 小柴, 木村, 原田: 鉄と鋼 44, 412, 1085, 1186 (1958), 45, 338 (1959)
- (9) 小柴, 永島: 日立評論 36, 813 (1954), 37, 1683 (1955)
- (10) 小柴, 田中: 日立評論 39, 735, 1197 (1957)
- (11) 小柴, 田中: 日本金属学会誌 21, 225 (1957)
- (12) 小柴: 高速度鋼 誠文堂新光社 176 (1950)
- (13) 小柴: 特殊鋼 日立評論社 153 (1952)
- (14) 小柴: 工具材料 下巻 丸善 432 (1956)
- (15) P. Klinger u. W. Koch: Beiträge zur metallkundlichen Analyse, Dusseldorf (1949)
- (16) North American Philips Co., Ltd: Norelco Instruction & Operating Manual (1944)
- (17) 試料中の含有量に対する、炭化物中に濃縮される元素の含有量の百分比で表わした値
- (18) 佐藤, 西沢: 鉄と鋼 44, 1089 (1958)

目 次

- ◎つかない電灯.....清水幾太郎
 ◎海を渡る日立の発電機器
 ◎常磐線を疾走する交直両用機関車
 ◎新しい照明施設
 ◎日立ハイライト(開通した江ノ島エスカ)
 ◎日立だより
 ◎明日への道標(黒部ダムのマンモスクレーン)
 ◎鉄鋼生産のリードオフマン
 ◎日立ミニホイスト
 ◎カラーテレビの実験放送拝見

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の1
 振替口座 東京 20018 番