

6.7.2 表面特性評価

表面特性の評価試験として、酸洗性の評価については酸洗減量試験、表面性状の評価については酸洗後の表面粗さ測定を行い評価を行った。

(1)試験方法

- (a)評価試験の試料は本試作材の 1.2mm、1.4mm、さらに比較対象用として 440MPa 級汎用鋼の 2.2mm 材を用いて、表 67.4 の酸洗条件で酸洗を行い、酸洗減量試験と表面粗さ測定を行った。
- (b)酸洗減量試験は酸洗前・後の重量測定を行い、スケールの減量を計算した。また、白色度測定を行い、それらの結果をもとに脱スケール性の評価した。
- (c)粗さ測定はレーザー顕微鏡による測定を行い酸洗時間が表面に及ぼす影響を調査した。

表 67.4 酸洗条件

項目	条件
酸濃度	塩酸 18%
浴温度	75～80℃
インヒビター	無し
酸洗時間	5,10,15,20,25,30,35,40,50,60,120,180秒

(2)酸洗減量試験結果

酸洗時間と酸洗減量及び白色度との関係を図 67.6、図 67.7 に、酸洗前のスケール厚み測定結果を図 67.8 に、試験時間ごとの外観写真を図 67.9～図 67.11 に、またスケールの X線回折結果を図 67.12 に示す。

スケール成分にファイアライト (Fe_2SiO_4) が見られるが、酸洗減量推移、白色度推移、及び外観は Si 添加されていない 440MPa 級汎用鋼と同様の脱スケール性であるといえる。本試験は、インヒビター（鋼の過剰溶解を防ぐ目的で使う、酸腐食抑制剤）無しの条件での試験であり、実機においてはインヒビター有りで酸洗を行うが、作業条件の調整を行うことで脱スケール性は確保できると考える。また、後述の粗さとの兼ね合いが、今後の検討課題となる。

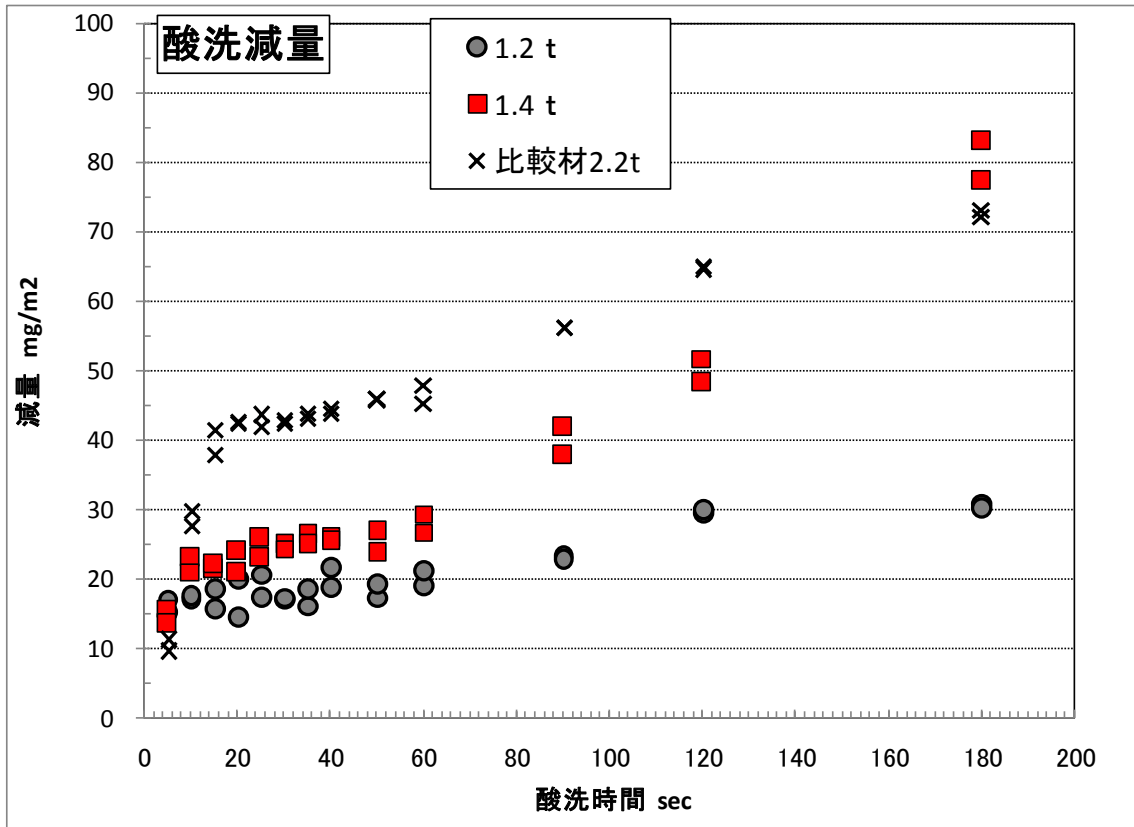


図 67.6 酸洗減量推移

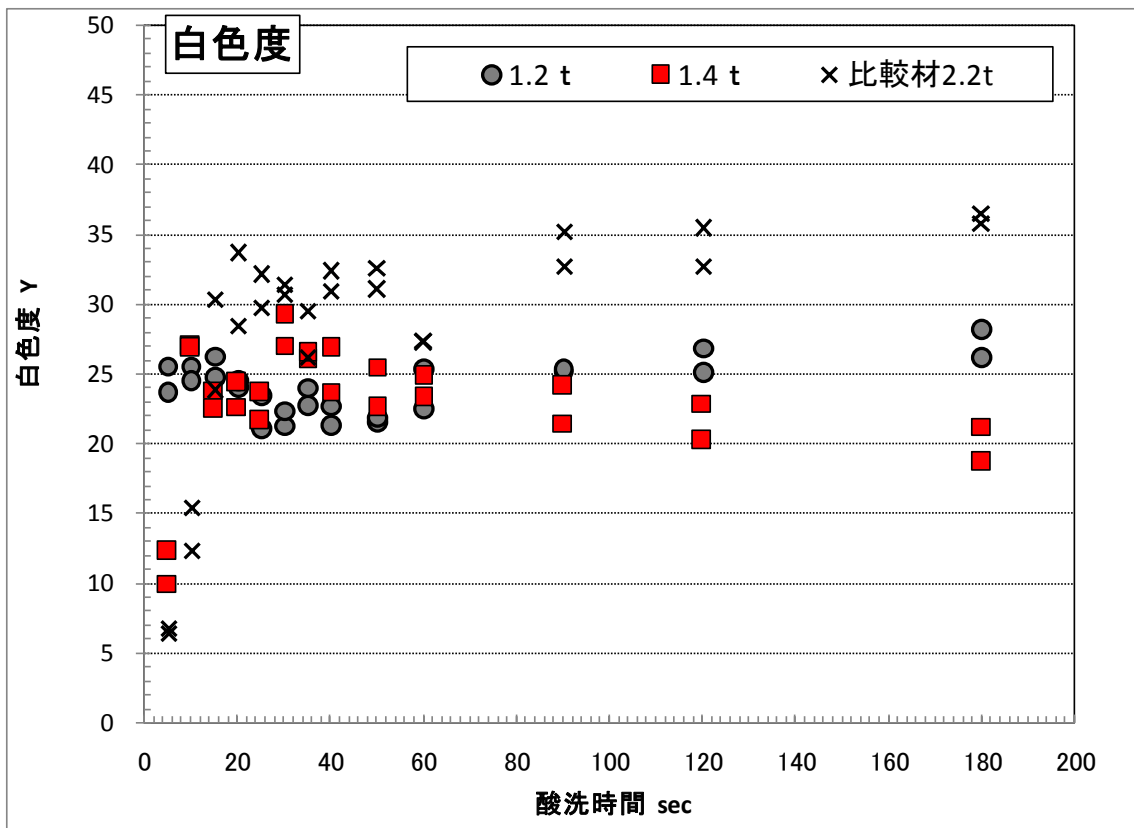


図 67.7 白色度推移

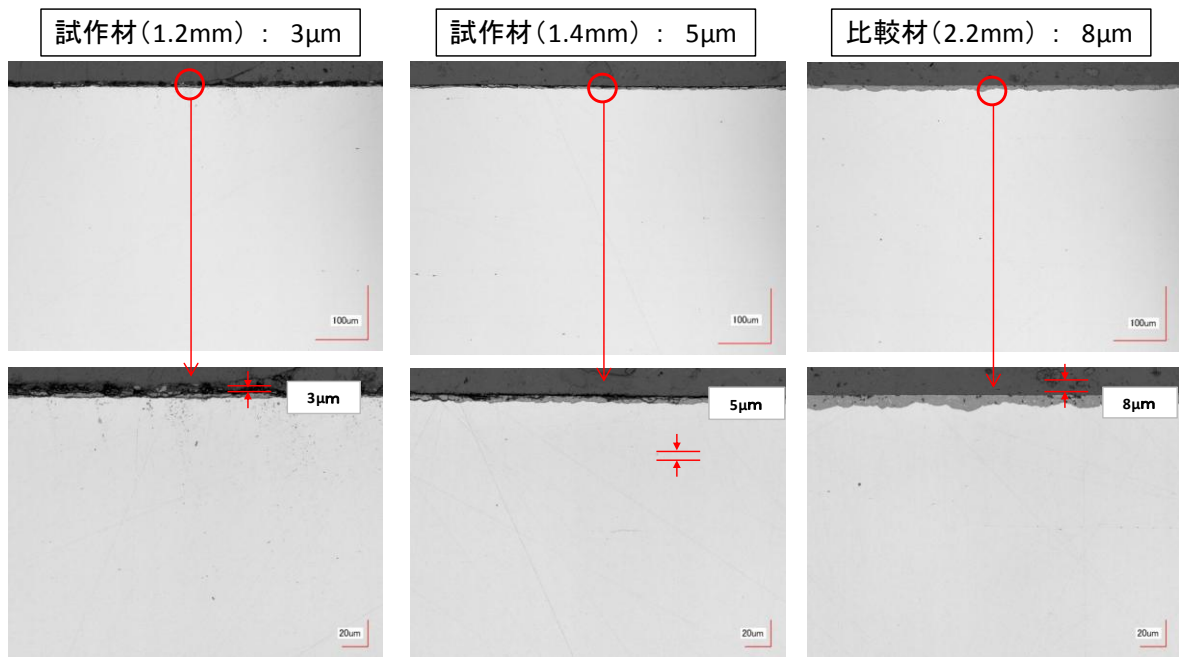


図 67.8 スケール厚み測定結果

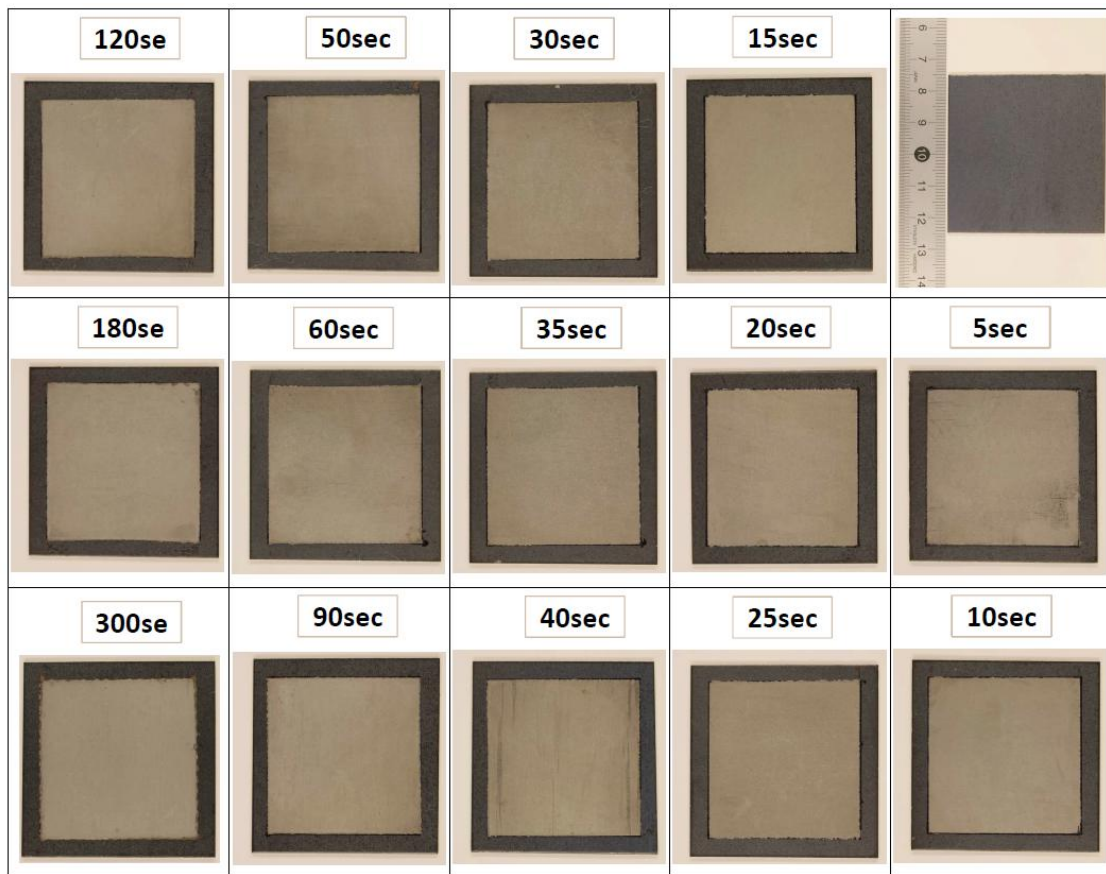


図 67.9 試験片 (試作材 1.2mm) の外観写真

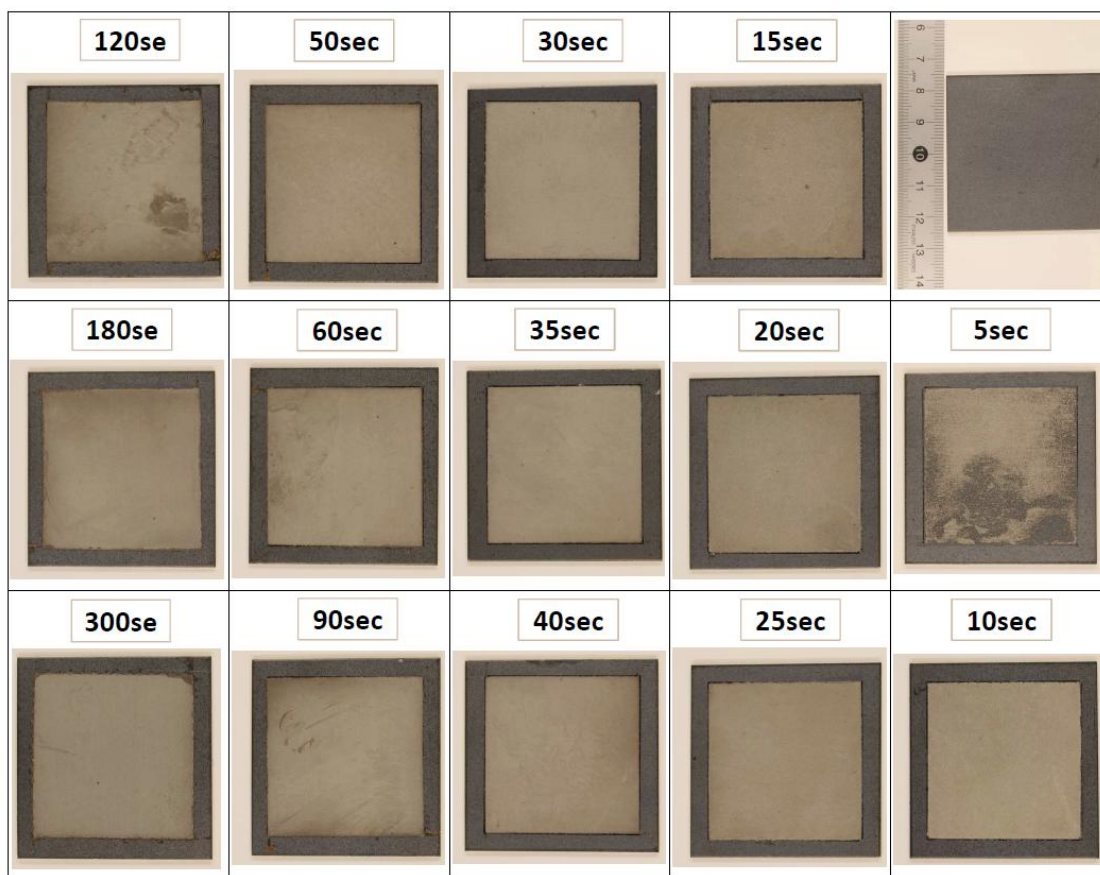


図 67.10 試験片（試作材 1.4mm）の外観写真

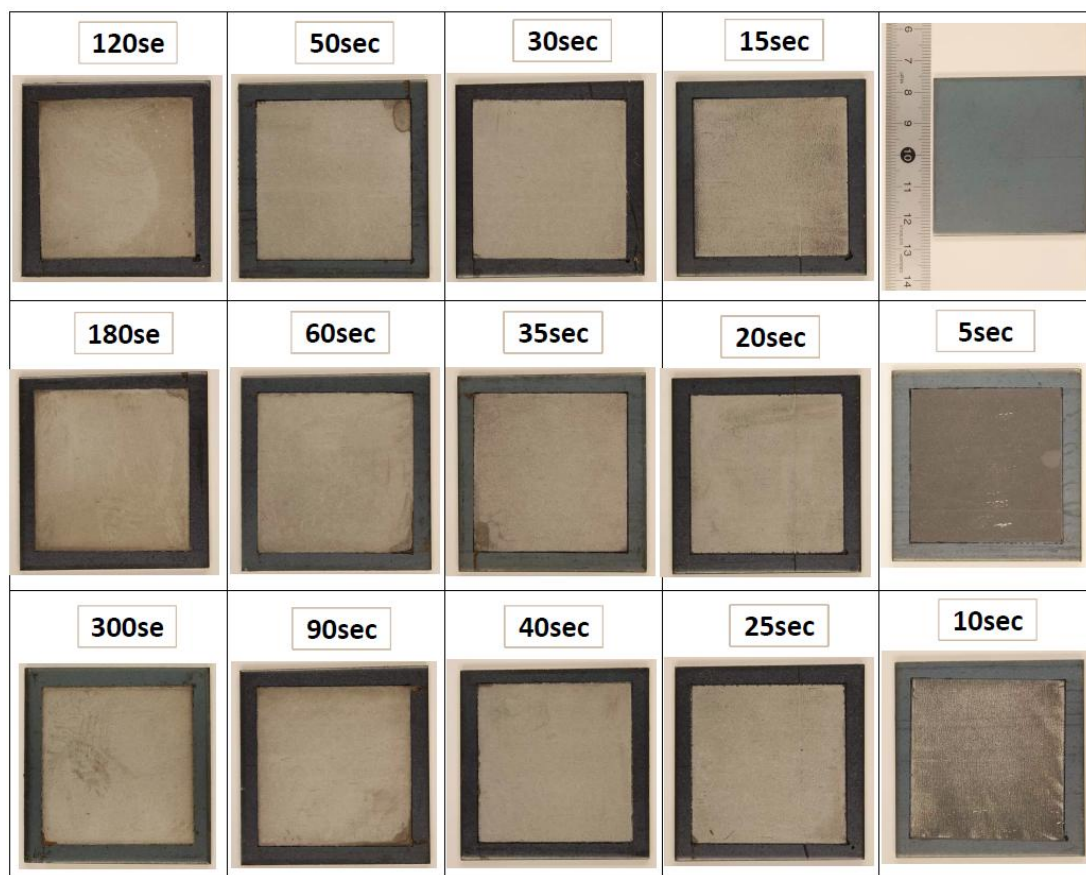
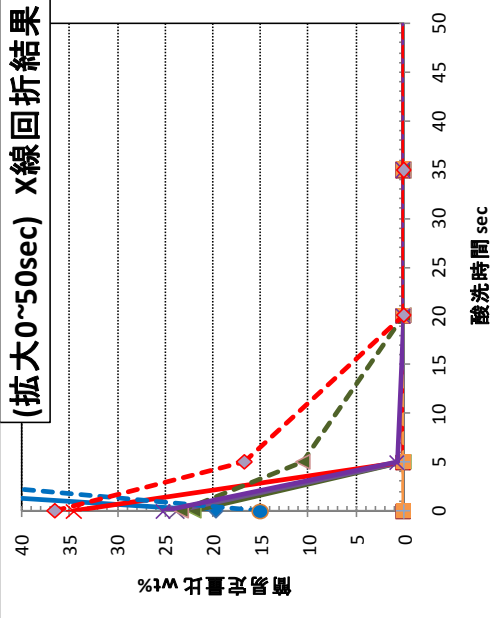


図 67.11 試験片（比較材 2.2mm）の外観写真

測定条件

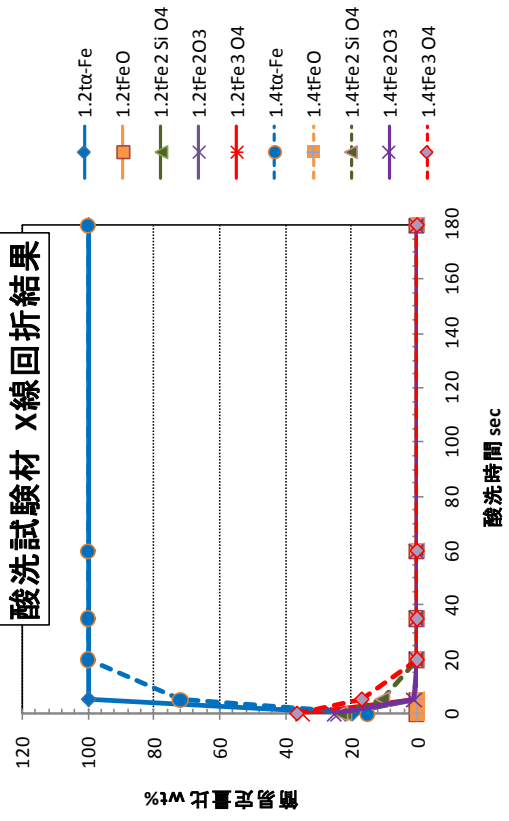
X線出力	40 kV, 40 mA	スキャンスピード/計数時間	3.0000 ° / min.
ゴニオメータ	Ultima IV (Protectus)	ステップ幅	0.0200 °
アタッチメント	-	スキャン軸	2θ / θ
フィルタ	モノクロ	スキャン範囲	3.0000 - 120.0000 °
CBO選択スリット	-	入射スリット	1°
検出器モノクロメータ法	固定モノクロメータ(U4)	長手制限スリット	1.0mm
検出器	シンチレーションカウンタ	受光スリット1	1°
スキャンモード	CONTINUOUS	受光スリット2	0.3mm



積分強度比 wt%

結晶相名	酸洗時間 sec			
	0	5	20	35
α-Fe	19.7	100.0	100.0	100.0
FeO	0.0	0.0	0.0	0.0
Fe2SiO4	22.1	0.0	0.0	0.0
Fe2O3	23.8	0.0	0.0	0.0
Fe3O4	34.5	0.0	0.0	0.0

酸洗試験材 X線回折結果



結晶相名	酸洗時間 sec			
	0	5	20	35
α-Fe	15.0	71.9	100.0	100.0
FeO	0.0	0.0	0.0	0.0
Fe2SiO4	23.3	10.6	0.0	0.0
Fe2O3	25.1	0.7	0.0	0.0
Fe3O4	36.5	16.7	0.0	0.0

図 67.12 X線回折結果

(3)表面粗さ測定結果

(a)表面粗さ測定

粗さ測定結果を表 67.5 に、酸洗時間と表面粗さの関係を図 67.13 に示す。酸洗時間の増加に伴い、表面粗さも粗くなる傾向にある。

(b)表面 SEM 観察

各サンプルの表面観察 (x 2000) を図 67.14 に示す。

写真でわかるように酸洗時間の経過と共に数~数十 μm 程度の凹凸が大きくなり、図 67.13 のレーザ顕微鏡での面粗さ結果と一致する。

各サンプルの SEM 観察像を図 67.15~図 67.19 に示す。以下に各サンプルの観察結果を述べる。

図 67.15 [No.B-1 酸洗時間 5sec]

表面には各所に酸洗不足によるスケール塊が残存している。

残存スケールの形状、分布に特異な傾向は認められない。

表面のマッピング分析結果、図 67.20 に示す。

スケール塊の無い表面には Si, Cr, Mo が認められる。スケール塊が無い部分においても Si, Cr, O ピークの強いスケールの取れ残りと思われる部分がある。Cu、Ni 等のトランプ元素については局所的な濃化、偏析は確認できなかった。

図 67.16 [No.B-2 酸洗時間 10sec]

B-1 で認められる粗大な残存スケールは存在しなかったが、部分的な錆を主体とした酸化物は認められる。

観察の中で表面に現れている介在物を発見した。本供試材を数箇所確認したが同様の介在物は発見できなかった。

介在物の定性分析を図 67.21 に示す。分析結果より、Mn、Cu、Ca の硫化物と Al、Mg の酸化物を主体とした複合体と思われる。

図 67.17 [No.B-6 酸洗時間 30sec]

表面は、全体的に荒れが大きくなり、B-1、B-2 に見られた $1\mu\text{m}$ 程度の微小孔は少なくなっている。

表面には B-2 と同様に局所的に酸化物が認められる。

図 67.22 に酸化物 (及び錆) 部の定性分析結果を示す。表面が平坦な A 部はスケール除去された部位であり、Fe の他、Si, Cr が認められる。SEM 像で白色粒状に見える B 部は、Mo の強いピークが認められる。Si, Cr, Mo の酸化物と思われる。粉状の C 部は酸洗後に発生した錆と考えられる。

図 67.18 [No.B-12 酸洗時間 120sec]

スケールは除去されている。表面地鉄は酸洗により凹凸が大きい。

図 67.19 [No.B-13 酸洗時間 180sec]

B-12 と同様、スケールは認められない。表面は B-12 に比べ更に凹凸が激しくなっている。

表 67.5 粗さ測定結果

コイルNo	酸洗時間(sec)	グループ A							グループ B						
		試料番号	算術平均粗さ Ra(μ m)			最大高さ Rz(μ m)			試料番号	算術平均粗さ Ra(μ m)			最大高さ Rz(μ m)		
			1	2	Ave.	1	2	Ave.		1	2	Ave.	1	2	Ave.
t1.2 No.20 (A3929013)	5	A-1	1.22	1.22	1.22	29.72	31.44	30.58	B-1	1.31	1.37	1.34	28.60	35.63	32.11
	10	A-2	1.22	1.27	1.24	31.83	32.95	32.39	B-2	1.24	1.45	1.35	28.40	31.99	30.19
	15	A-3	1.47	1.49	1.48	32.05	34.80	33.42	B-3	1.32	1.27	1.30	33.35	32.96	33.16
	20	A-4	1.30	1.35	1.33	31.37	31.43	31.40	B-4	1.24	1.42	1.33	32.28	32.23	32.25
	25	A-5	1.61	1.21	1.41	28.78	35.42	32.10	B-5	1.60	1.38	1.49	33.14	36.03	34.58
	30	A-6	1.15	1.41	1.28	31.13	32.92	32.02	B-6	1.62	1.58	1.60	35.50	32.15	33.83
	35	A-7	1.24	1.28	1.26	40.73	29.03	34.88	B-7	1.51	1.36	1.44	34.05	28.77	31.41
	40	A-8	1.36	1.43	1.39	35.51	36.38	35.95	B-8	1.27	1.35	1.31	38.91	35.81	37.36
	50	A-9	1.18	1.18	1.18	33.14	34.83	33.99	B-9	1.39	1.36	1.38	42.88	40.85	41.87
	60	A-10	1.57	1.48	1.53	33.66	35.78	34.72	B-10	1.55	1.40	1.47	39.66	35.17	37.41
	90	A-11	1.41	1.27	1.34	39.04	37.07	38.05	B-11	1.64	1.54	1.59	43.69	39.27	41.48
	120	A-12	1.52	1.63	1.58	32.73	37.10	34.91	B-12	1.69	1.69	1.69	41.65	50.69	46.17
	180	A-13	1.70	1.63	1.66	43.90	43.02	43.46	B-13	1.83	1.96	1.89	55.82	52.33	54.08
t1.4 No.15 (A3929012)	5	A-1	1.33	1.59	1.46	31.33	34.87	33.10	B-1	1.41	1.27	1.34	29.57	27.91	28.74
	10	A-2	1.32	1.27	1.29	29.98	28.86	29.42	B-2	1.42	1.72	1.57	40.63	35.34	37.98
	15	A-3	1.30	1.16	1.23	32.66	28.06	30.36	B-3	1.21	1.44	1.33	34.37	32.10	33.23
	20	A-4	1.27	1.27	1.27	32.60	35.48	34.04	B-4	1.54	1.46	1.50	34.95	33.39	34.17
	25	A-5	1.40	1.47	1.44	31.72	32.66	32.19	B-5	1.30	1.25	1.27	40.86	42.52	41.69
	30	A-6	1.43	1.33	1.38	28.17	27.51	27.84	B-6	1.23	1.34	1.28	34.84	27.15	31.00
	35	A-7	1.39	1.56	1.47	31.87	32.00	31.93	B-7	1.21	1.38	1.30	32.04	33.37	32.71
	40	A-8	1.44	1.35	1.40	35.00	29.02	32.01	B-8	1.39	1.37	1.38	43.37	30.45	36.91
	50	A-9	1.50	1.62	1.56	36.57	37.40	36.98	B-9	1.46	1.21	1.33	36.27	33.21	34.74
	60	A-10	1.48	1.63	1.55	35.69	38.62	37.16	B-10	1.47	1.65	1.56	40.32	42.55	41.43
	90	A-11	1.70	1.62	1.66	38.26	36.77	37.51	B-11	1.52	1.78	1.65	44.60	40.62	42.61
	120	A-12	1.67	1.72	1.69	41.38	41.33	41.36	B-12	1.86	1.70	1.78	39.56	44.23	41.89
	180	A-13	1.71	1.80	1.75	47.95	48.28	48.12	B-13	1.72	1.72	1.72	41.08	41.94	41.51

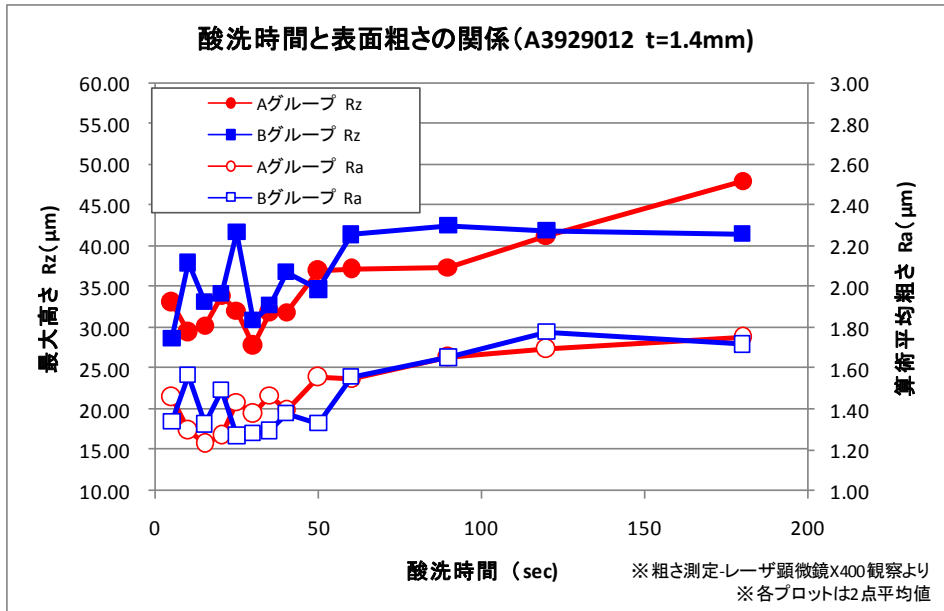
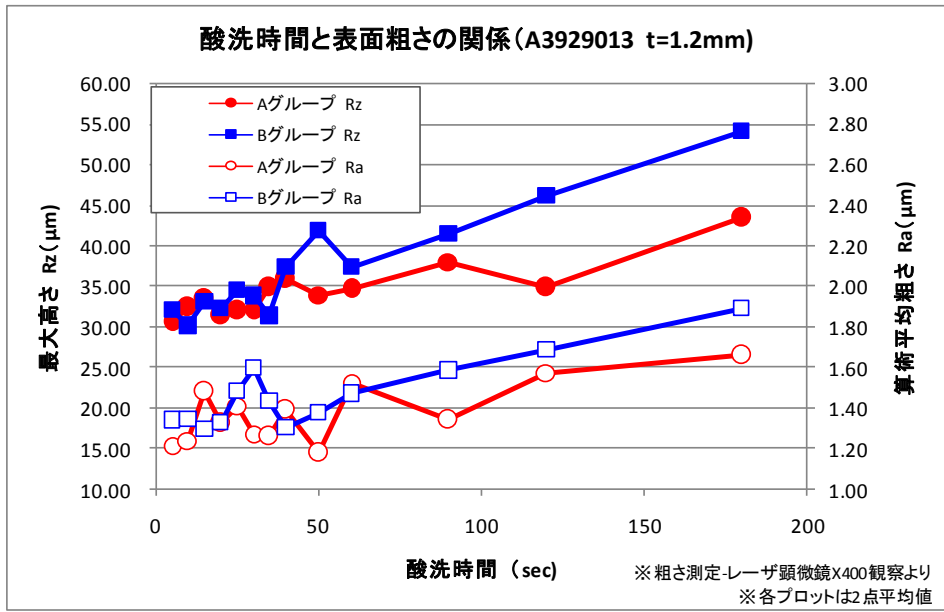


図 67.13 酸洗時間と表面粗さの関係

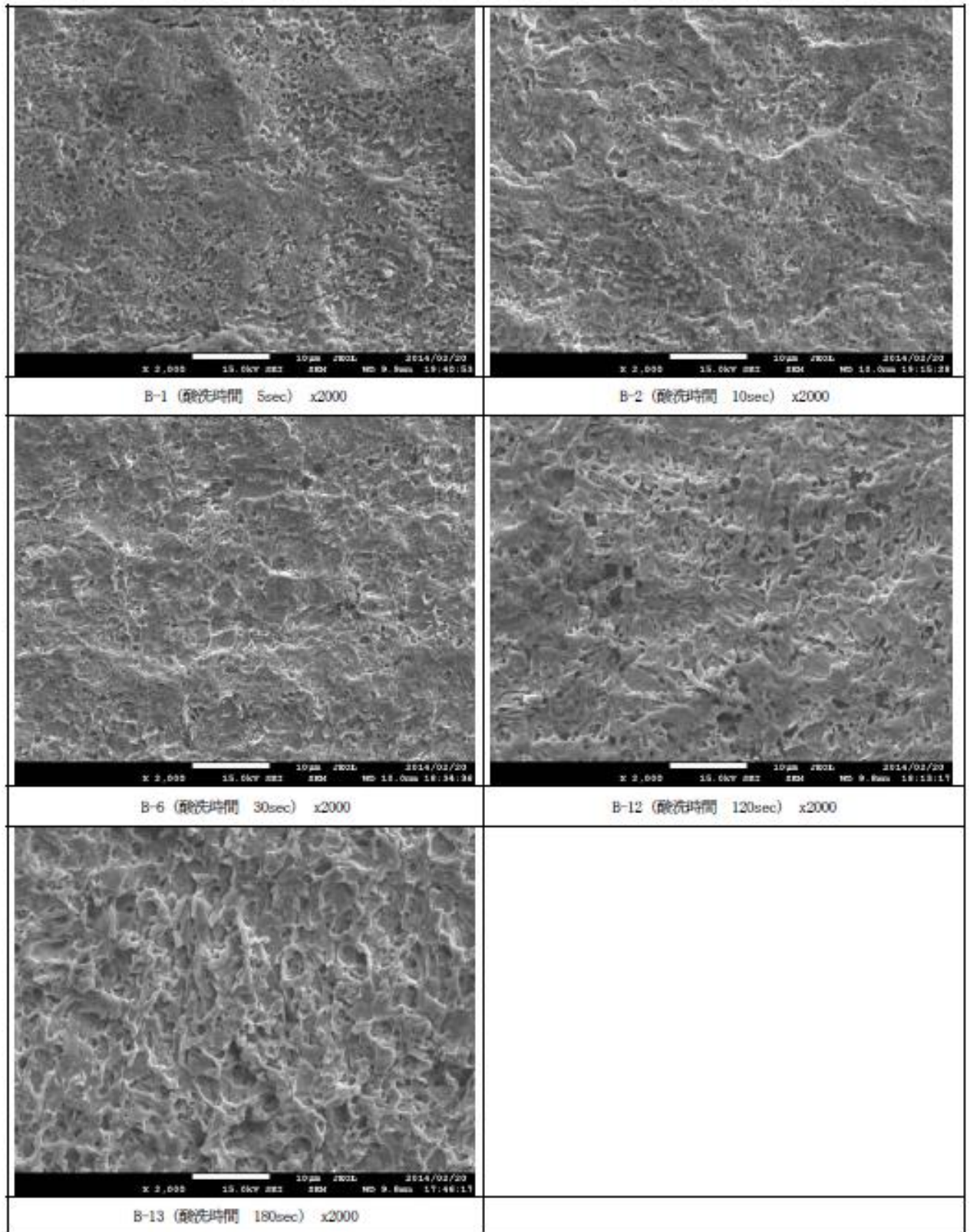


図 67.14 表面 SEM 像 (酸洗時間別比較)

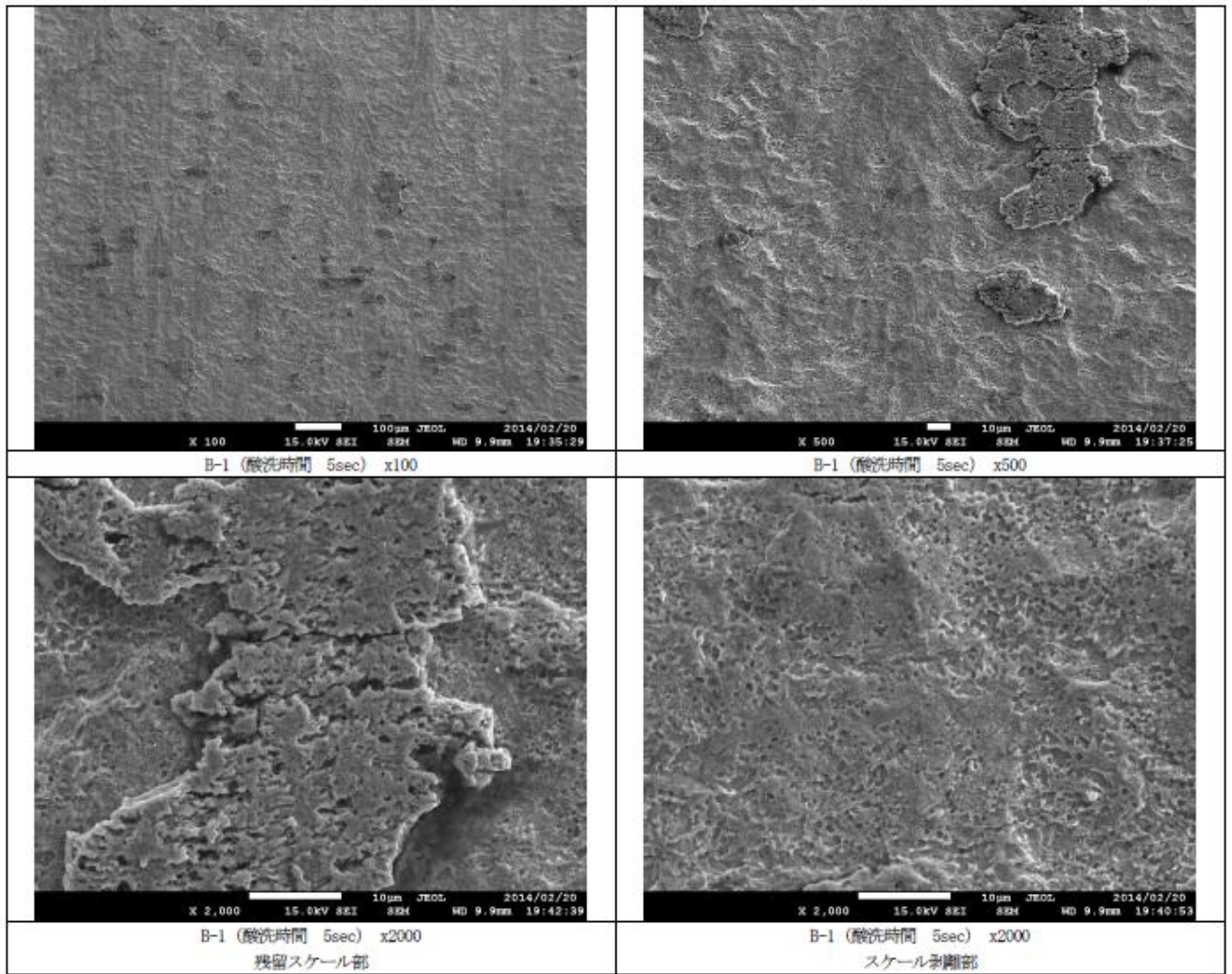


図 67.15 表面 SEM 像 (B-1 酸洗時間 5sec)

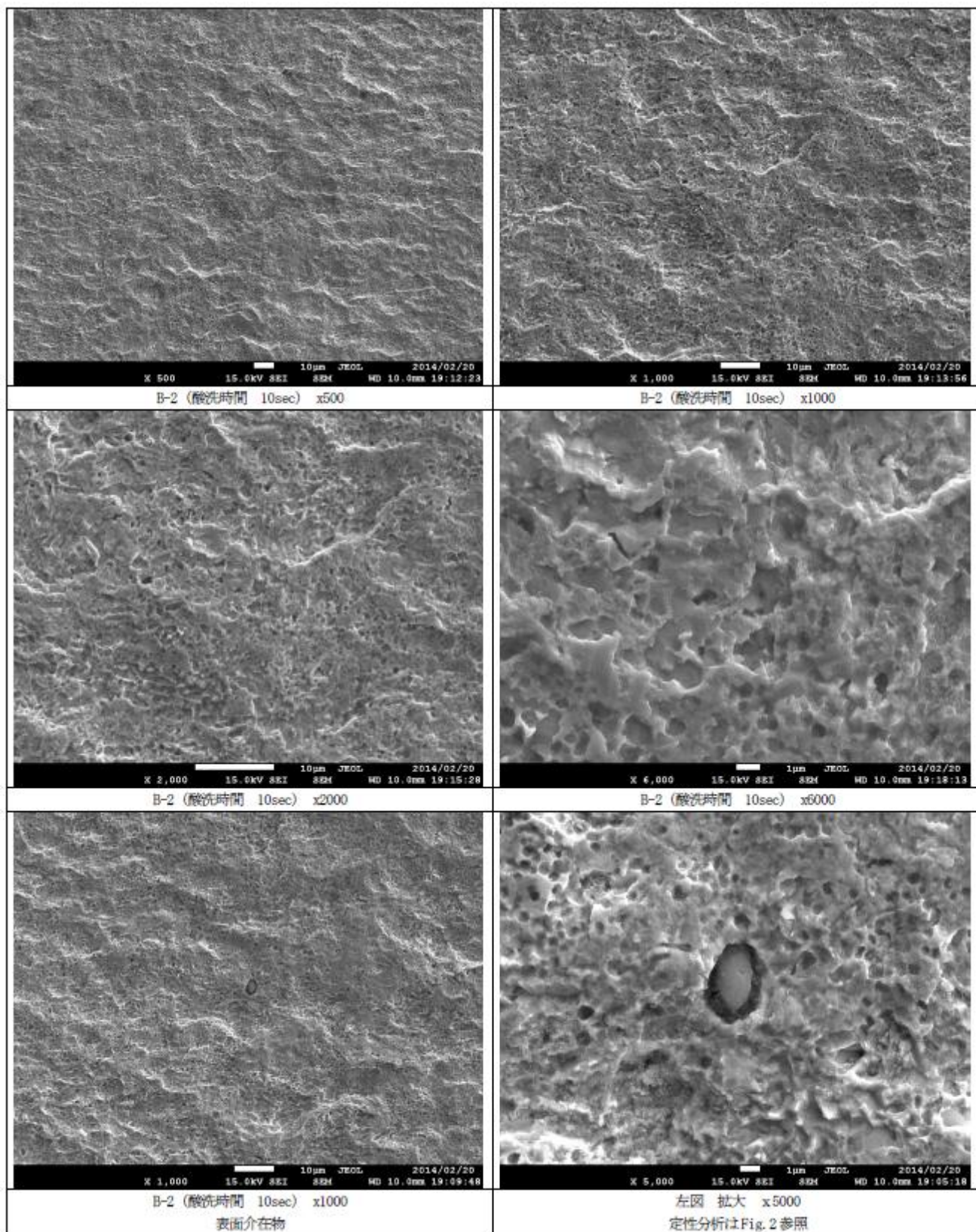


図 67.16 表面 SEM 像 (B-2 酸洗時間 10sec)

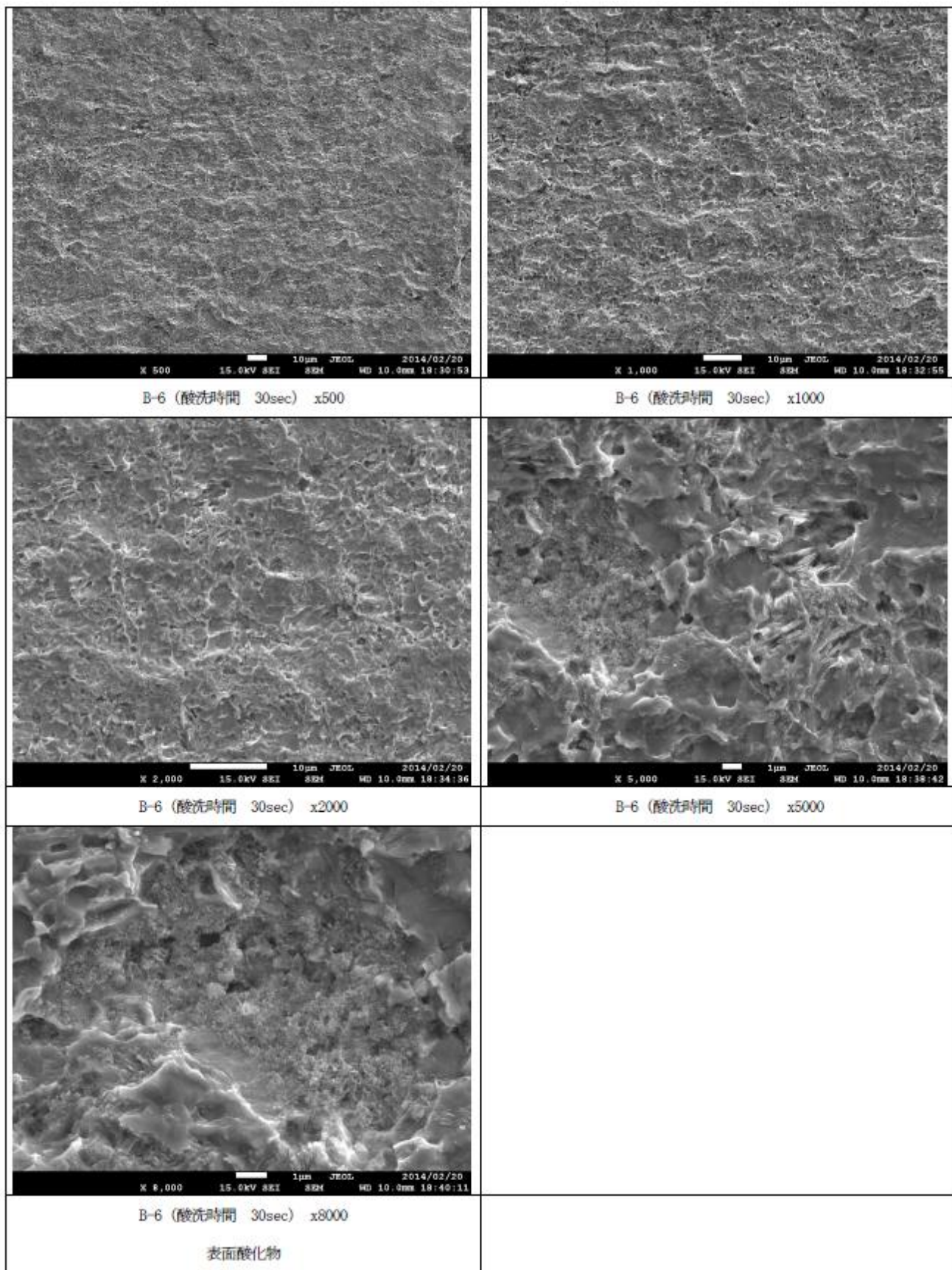


図 67.17 表面 SEM 像 (B-6 酸洗時間 30sec)

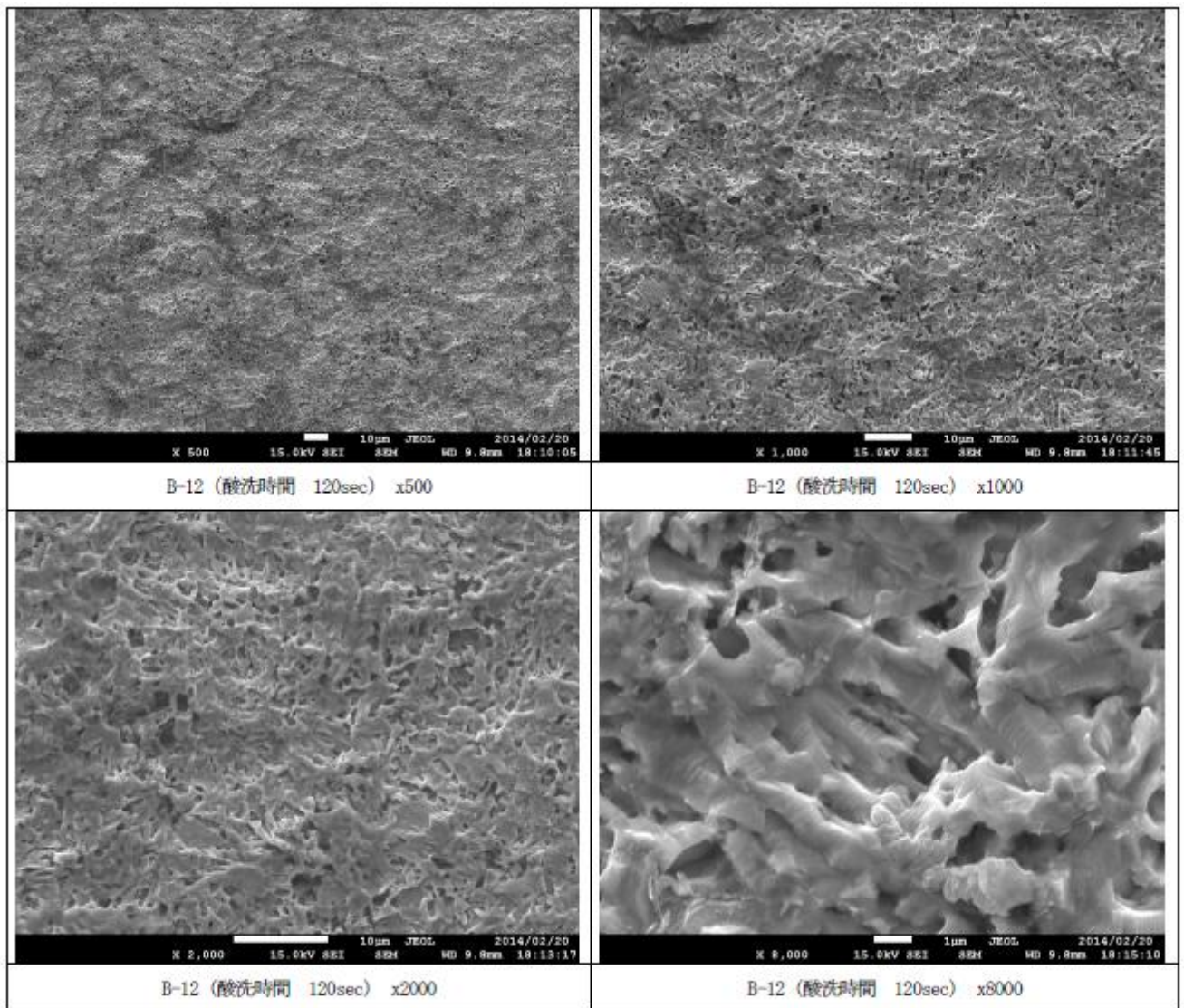


図 67.18 表面 SEM 像 (B-12 酸洗時間 120sec)

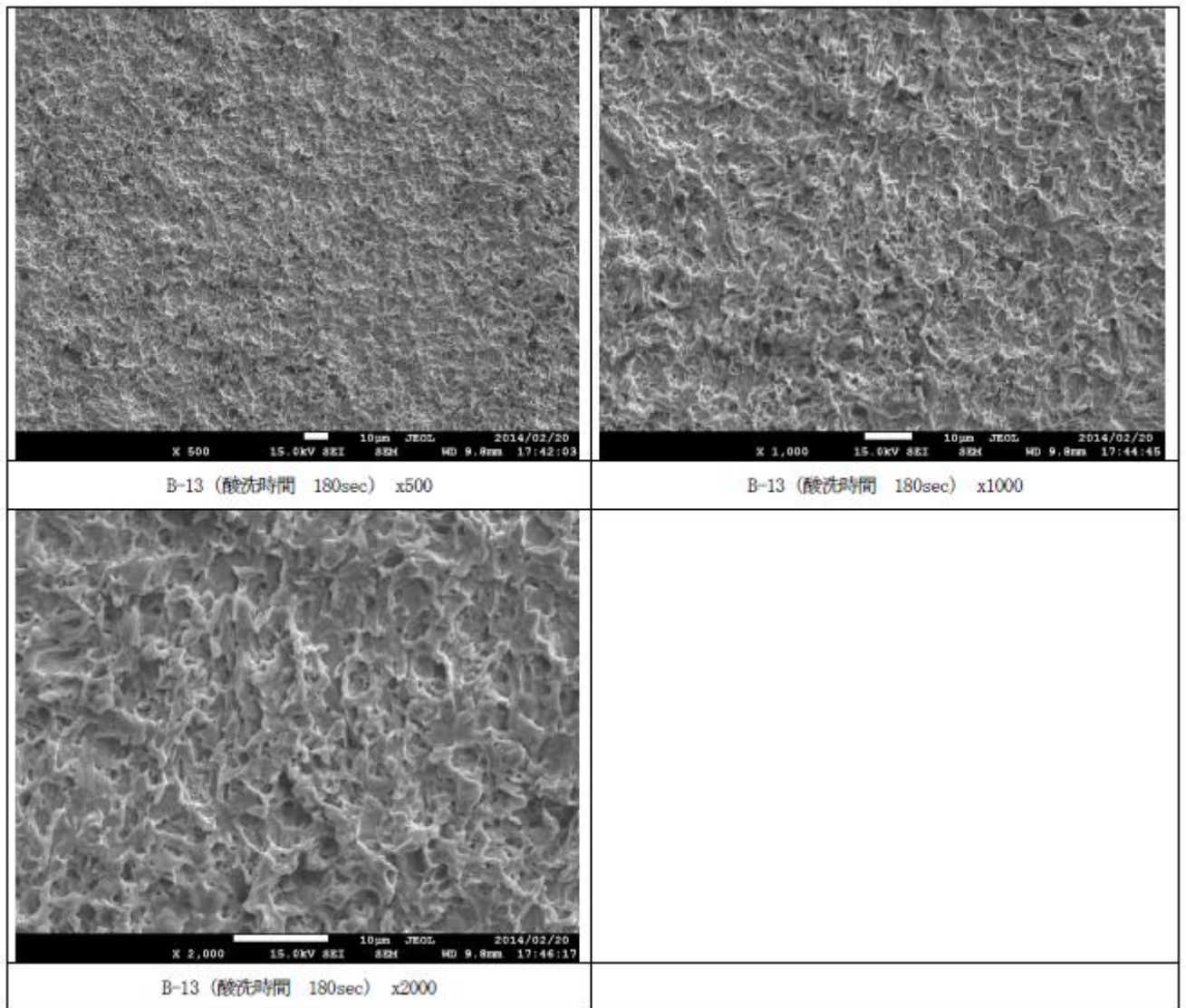


図 67.19 表面 SEM 像 (B-13 酸洗時間 180sec)

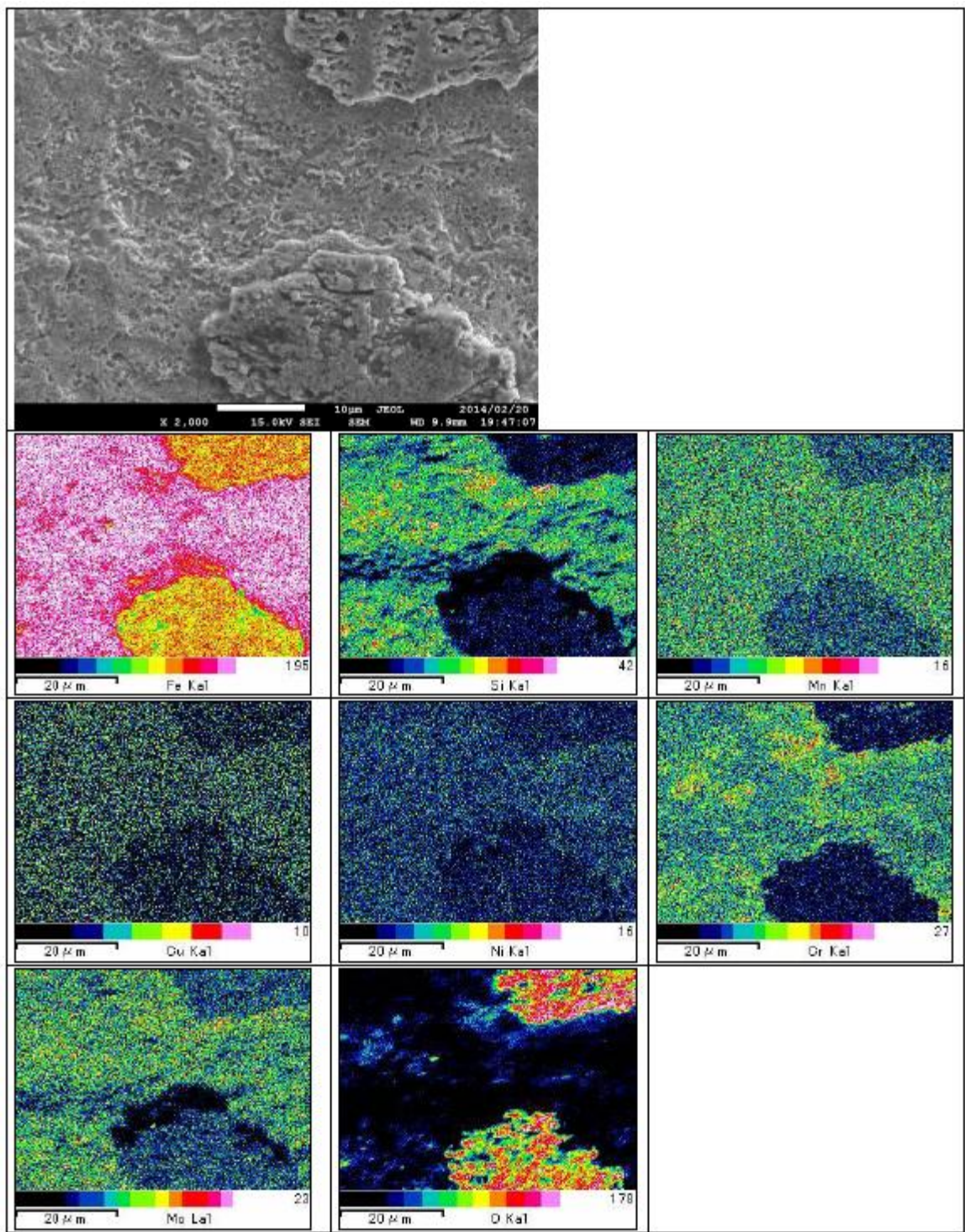


図 67.20 B-1 サンプル 残存スケールとスケール剥離面のマッピング分析

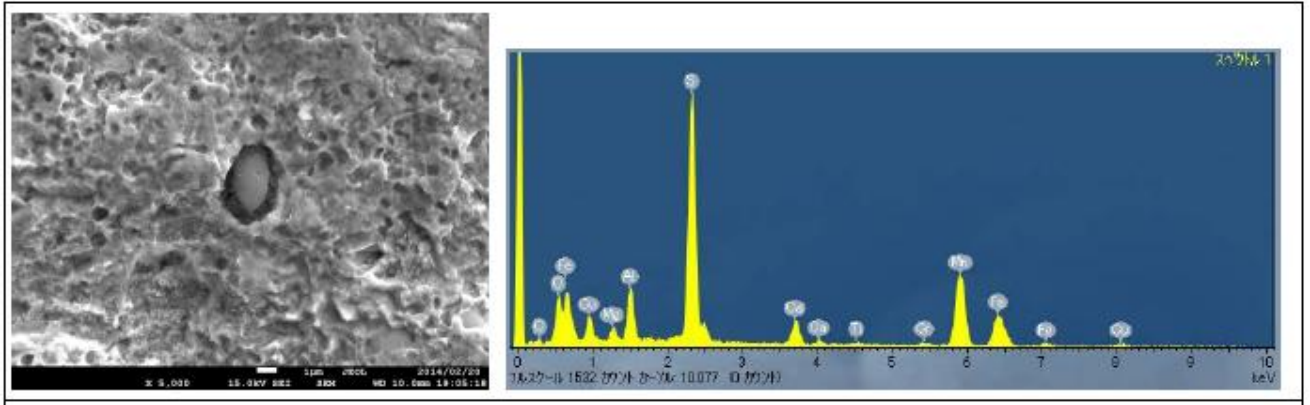


図 57.21 B-2 サンプル表面介在物

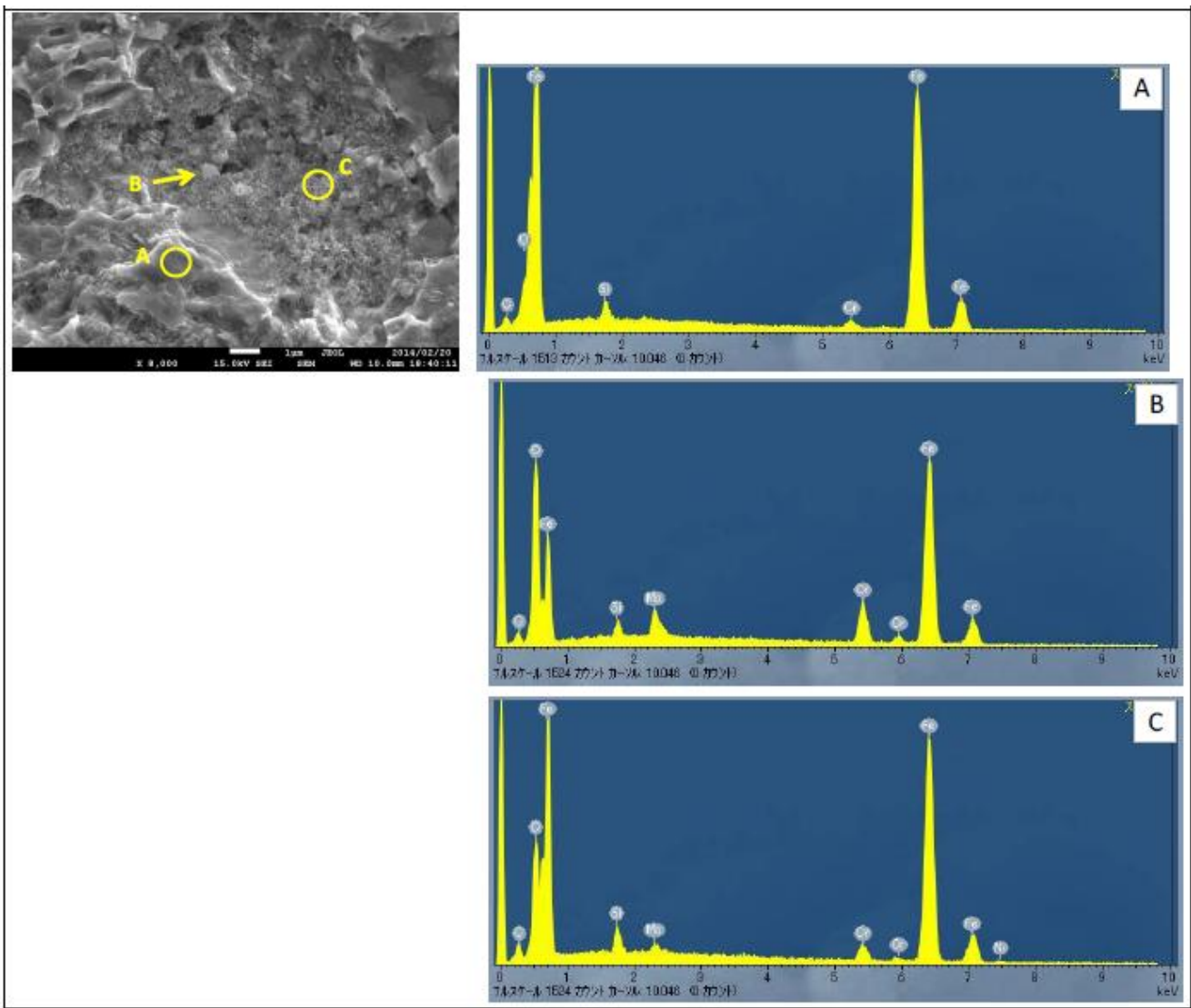


図 67.22 B-6 サンプル表面の定性分析

(c)粗さ計による測定値の比較

レーザー顕微鏡による表面粗さ測定に続き、一般的に用いられている JIS 法に基づく触針式粗さ計での粗さ測定を行った。レーザー顕微鏡との比較を図 67.23 に示す。図 67.24 の SEM 像の通り、酸洗時間に比例して表面の凹凸は激しくなり、粗さは大きくなるが、測定方法の違いにより、結果に差が出る。

図 67.25 をみると、触針跡は $50\mu\text{m}$ ほどあり、酸洗による表面の粗さの変化や $50\mu\text{m}$ より小さな凹部は分からないと考えられる。今後の表面性状の評価方法に検討の余地がある。

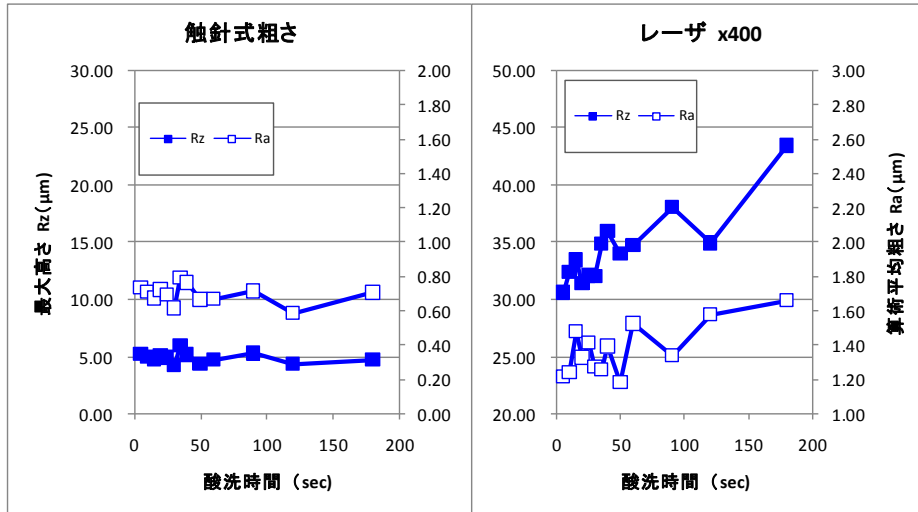
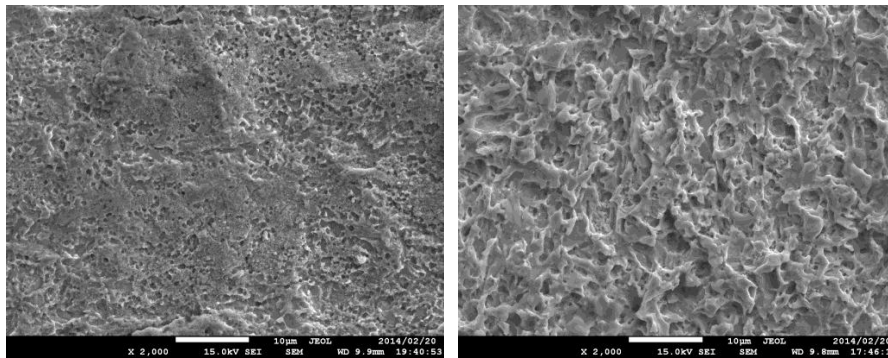


図 67.23 触針式粗さ計とレーザー顕微鏡との比較



酸洗時間:5sec
酸洗時間:180sec
図 67.24 表面 SEM 像 (5sec と 180sec)

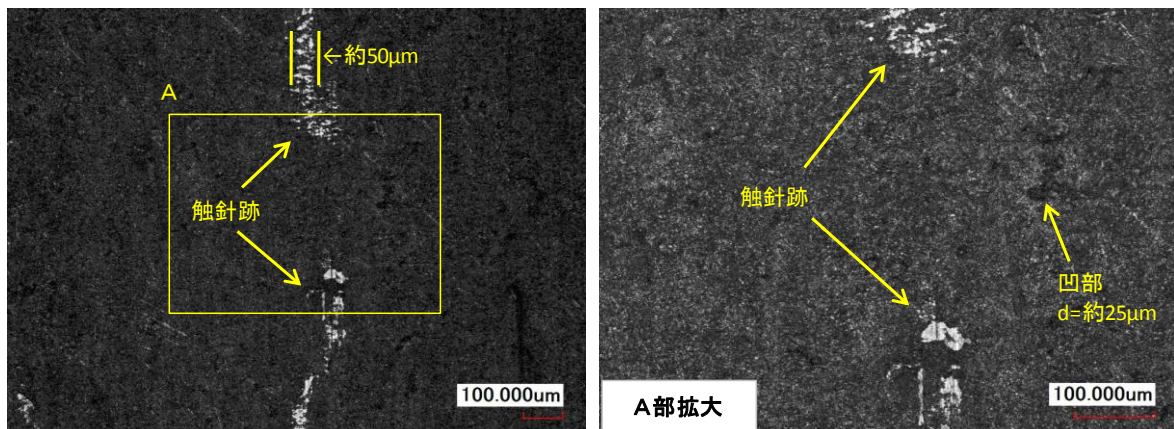


図 67.25 触針跡の観察

(d)高炉材との比較

レーザー顕微鏡 x400 による表面粗さ測定によって比較高炉材の粗さ測定を行った。表 67.6 に示す。また、本試作材と比較した SEM 写真を図 67.26~28 に示す。

比較高炉材の表面粗さは、試作材に対して、Ra で約 1/2、Rz で約 1/4 程度である。今回、試作材は手酸洗で酸洗を行っており、スキンプスによる圧下加わっていないため、数値は単純には比較できないが、将来の実機酸洗に向けての課題となる。

表 67.6 粗さ測定結果

比較高炉材 JSH440W 2.0mm	x400					
	Ra-1	Ra-2	Ra Ave.	Rz-1	Rz-2	Rz Ave.
	0.68	0.70	0.69	7.46	8.36	7.91

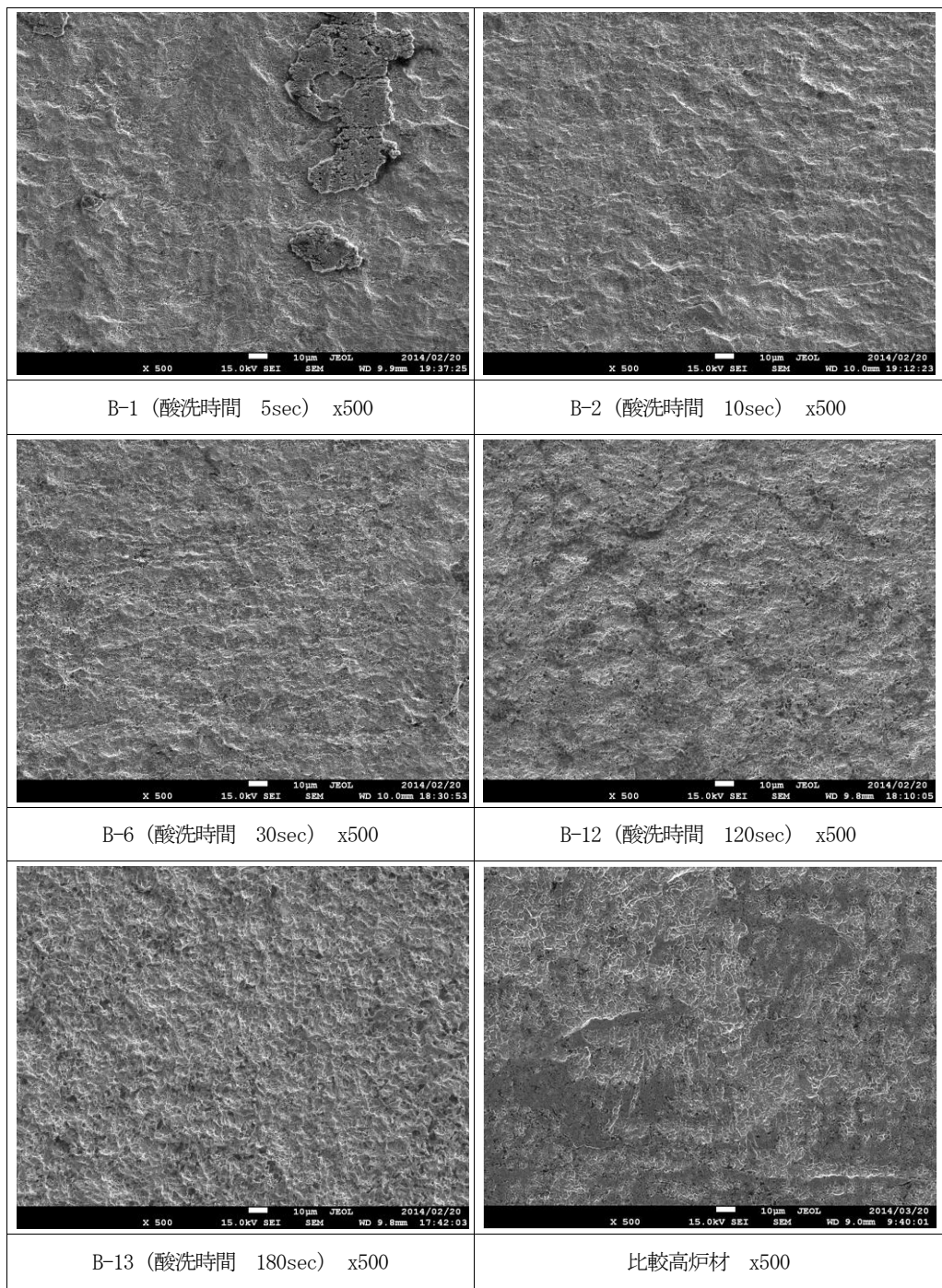


図 67.26 粗さ比較 x500

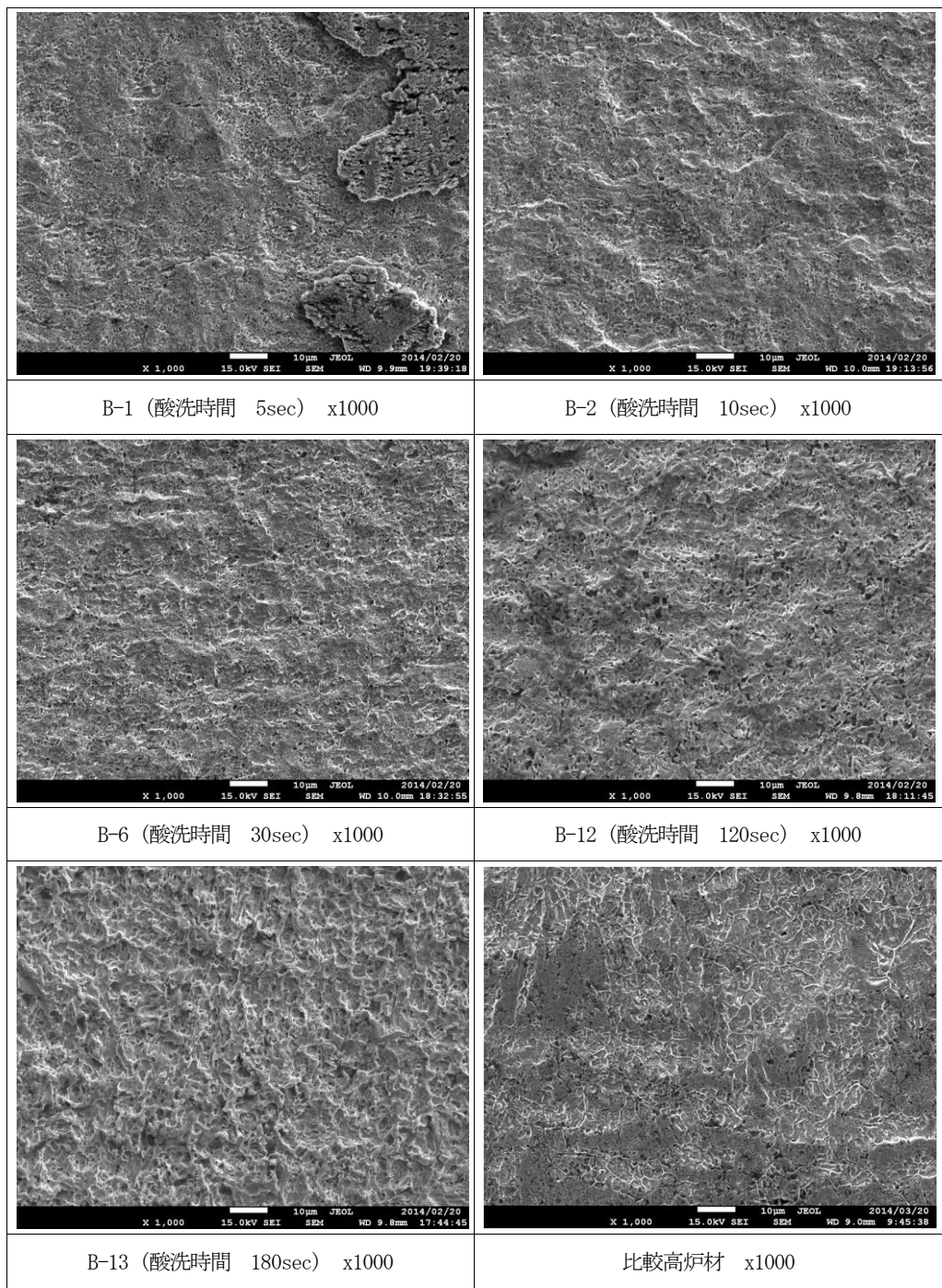


図 67.27 粗さ比較 x1000

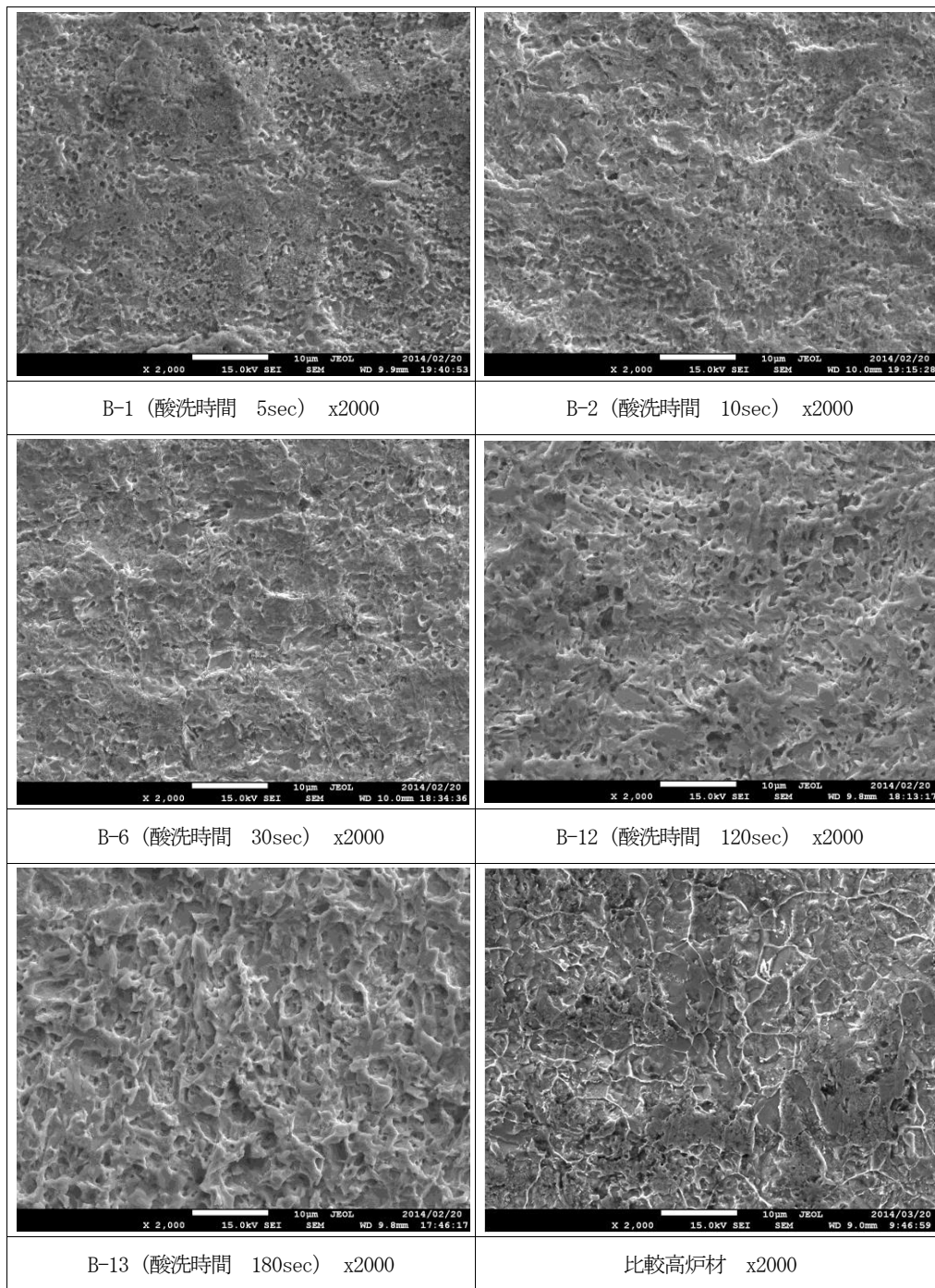


図 67.28 粗さ比較 x2000

7. レアメタルの有効活用

本試作では1成分の溶製しか行っていないが、今後、品質（ベイナイトの生成条件最適化）とコスト（合金元素の添加量の削減、スクラップ配合の最適化）のために、より最適な成分系を検討する必要がある。その事前確認の試験として、ラボにて試験溶製と試験圧延を行った。

7.1 ラボ溶製・ラボ圧延

(1) ラボ溶製

980MPa 高強度高延性の下部ベイナイト組織を作り、Si : 1.0%、Cr : 1.0%、Mo : 0.30%をベースとして、表 7.1 に示す通り、Si、Cr、Mo を変化させた成分を目標成分として溶製した。

表 7.1 ラボ溶製の目標化学成分

FY	目標	成分 (wt%)												
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V			
2012	A1	0.070	0.85	1.40	0.015	0.003	0.30	0.10	0.15	Tr.	Tr.			
2012	B	0.190	1.00	0.40					1.00	0.30		0.10	1.00	0.30
2012	C		1.15											
2012	D		1.30											
2012	E		1.45											
2013	F		1.25											
2013	G	1.50												
2013	H	1.00												
2013	I	1.25												
2013	J	1.50												
2013	K	1.00												
2013	L	1.25												
2013	M	1.50												
2013	N	1.00												
2013	O	1.25												
2013	P	1.50												
2013	Q	1.00												

FY	目標	成分 (wt%)									
		Nb	Ti	T-Al	Sol. Al	Sn	Pb	B	Ca	O	N
2012	A1	Tr.	Tr.	0.030	-	0.015	Tr.	Tr.	Tr.	成行き	0.0040
2012	B										
2012	C										
2012	D										
2012	E										
2013	F										
2013	G										
2013	H										
2013	I										
2013	J										
2013	K										
2013	L										
2013	M										
2013	N										
2013	O										
2013	P										
2013	Q										

(2) ラボ圧延

溶製後、ラボ圧延機にて圧延を行った。

7.2 品質確認

(1) 化学成分

成分分析結果を、表 7.2 に示す。

ラボ溶製は、狙い通りの成分の鋼塊が得られた。

表 7.2 溶製成分分析結果

FY	実績	成分 (wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
2012	A1	0.071	0.85	1.40	0.016	0.0032	0.30	0.11	0.15	<0.01	<0.005
2012	B	0.193	1.00	0.42	0.017	0.0031	0.30	0.11	1.00	0.30	<0.005
2012	C	0.192	1.16	0.42	0.017	0.0029	0.30	0.11	1.00	0.31	<0.005
2012	D	0.192	1.33	0.41	0.017	0.0028	0.30	0.11	0.99	0.30	<0.005
2012	E	0.191	1.44	0.42	0.017	0.0030	0.30	0.11	0.99	0.31	<0.005
2013	F	0.197	1.25	0.42	0.016	0.0023	0.32	0.10	1.24	0.30	<0.005
2013	G	0.194	1.50	0.41	0.017	0.0028	0.32	0.10	1.49	0.30	<0.005
2013	H	0.195	0.96	0.41	0.014	0.0026	0.32	0.10	1.23	0.30	<0.005
2013	I	0.195	1.27	0.41	0.015	0.0033	0.32	0.10	1.00	0.30	<0.005
2013	J	0.202	1.49	0.42	0.017	0.0035	0.32	0.10	1.00	0.30	<0.005
2013	K	0.195	1.01	0.42	0.016	0.0026	0.32	0.10	1.49	0.30	<0.005
2013	L	0.192	1.29	0.42	0.017	0.0023	0.32	0.10	1.24	0.24	<0.005
2013	N	0.197	1.49	0.42	0.017	0.0034	0.32	0.10	1.49	0.25	<0.005
2013	M	0.196	1.00	0.42	0.016	0.0034	0.32	0.10	1.25	0.24	<0.005
2013	O	0.196	1.23	0.41	0.016	0.0031	0.32	0.11	0.99	0.24	<0.005
2013	P	0.192	1.52	0.42	0.017	0.0023	0.32	0.10	1.00	0.25	<0.005
2013	Q	0.198	0.99	0.41	0.016	0.0025	0.32	0.10	1.50	0.25	<0.005

FY	実績	成分 (wt%)									
		Nb	Ti	T-Al	SoI. Al	Sn	Pb	B	Ca	O	N
2012	A1	<0.005	<0.005	0.033	0.032	0.015	<0.001	0.0001	<0.0005	0.0010	0.0037
2012	B	<0.005	<0.005	0.033	0.032	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0007	0.0040
2012	C	<0.005	<0.005	0.033	0.032	0.016	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0007	0.0040
2012	D	<0.005	<0.005	0.034	0.033	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0008	0.0038
2012	E	<0.005	<0.005	0.031	0.030	0.014	<0.001	0.0001	<0.0005	0.0006	0.0042
2013	F	<0.005	<0.005	0.033	0.031	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0012	0.0048
2013	G	<0.005	<0.005	0.031	0.029	0.014	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0010	0.0046
2013	H	<0.005	<0.005	0.033	0.031	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0012	0.0041
2013	I	<0.005	<0.005	0.033	0.031	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0014	0.0039
2013	J	<0.005	<0.005	0.034	0.033	0.014	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0015	0.0036
2013	K	<0.005	<0.005	0.032	0.030	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0011	0.0045
2013	L	<0.005	<0.005	0.031	0.029	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0013	0.0042
2013	N	<0.005	<0.005	0.031	0.029	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0010	0.0035
2013	M	<0.005	<0.005	0.033	0.032	0.014	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0012	0.0035
2013	O	<0.005	<0.005	0.032	0.031	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0018	0.0038
2013	P	<0.005	<0.005	0.030	0.029	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0015	0.0043
2013	Q	<0.005	<0.005	0.032	0.031	0.015	<0.001	<0.0001	<0.0005	0.0012	0.0043

(2)組織観察

Si : 1.0%、Cr : 1.0%をベースに、Siを増やしたもの、Crを増やしたもの、Cr,Siを同じ比率で増やしたものをSEMを用いて組織観察を行った。

Crだけ増やしたものについては微細炭化物の様相が、ベースに比べ良くない。Siだけ増やしたものと及びSi、Crを同比率で増やしたものについては、微細炭化物の様相が、組織創製のコンセプトと合い、良好な組織と考えられる。Moを0.25%に減らしたものは微細炭化物の量が少なく見えた。

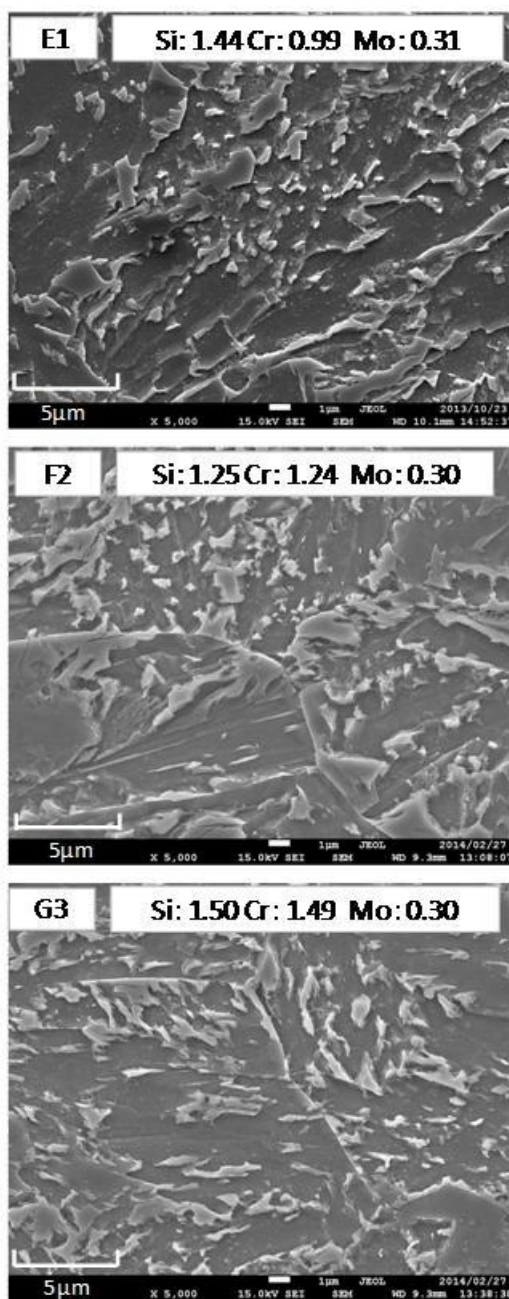


図 7.1 SEM 組織写真 (代表組織例)

8. 評価

材料創製の考え方、及び、どのような方策により実現しようとしたのか。更には、その結果が想定通りだったのか否かなど、考え方と検討プロセスを説明の上、結果を総括する。

8.1 目標を達成する為の材料創製の考え方

980MPa 級の高強度と高延性の両立と熱延プロセスで安定した製造性を実現させるため、

- ・ 加工熱処理による前 γ 粒の細粒化
 - ・ 微細 γ 粒からの下部ベイナイト組織を基地組織とし、
 - ・ 下部ベイナイトの炭化物と微細 MA による高ひずみ硬化率の実現 (⇒ 高のび)
- を組織創製方針とし、その製造プロセスは以下とした。
- ・ γ 域での粗・仕上げ圧延 (加工熱処理) (前 γ 粒径: 10 μm レベルを狙い)
 - ・ 仕上げ圧延～コイル巻き取りまでは急冷し、 γ 組織のままとし、
 - ・ コイル巻き取り後に、ベイナイト変態させる。

組成としては、CCT 線図における γ 領域の拡大とパーライト生成の抑止、コイル巻き取り温度での安定したベイナイト変態領域が確保出来る成分を選択。

製造プロセスは、独立行政法人 物質・材料研究機構 (NIMS) 超鉄鋼プロジェクトの微細結晶粒組織の考え方を、ベイナイト組織を基地組織として応用した。(図 8.1)

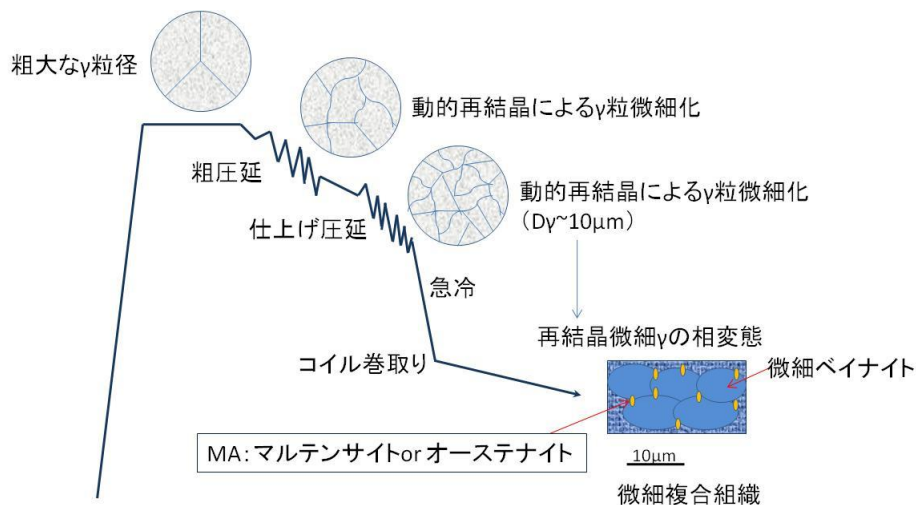


図 8.1 材料創製の考え方(製造プロセス)

8.2 得られた試作材の特性

材料（組成）については、Si-Cr-Mo系による微細炭化物の析出、再結晶 γ の安定（粗大化抑制）、パーライト生成の抑制、溶接部靱性を考慮した組成設計とした。（表 8.1）

表 8.1 材料組成

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
	%								
狙い	0.19 (0.18以上～ 0.20未満)	1.00 以上	0.40	0.015	0.003	0.30	0.10	1.00 以上	0.3
FY2012 実績	0.182	1.108	0.53	0.029	0.005	0.16	0.11	1.01	0.30
FY2013 実績	0.201	1.001	0.43	0.032	0.007	0.24	0.11	1.01	0.30

	V	Nb	AL	Sn	Pb	B	Ca	Ti	O		N
	%									ppm	
狙い	—	—	0.030	0.015	—	—	—	—	20 (30)	40 (70)	
FY2012 実績	0.017	0.007	0.023	0.018	0.010	0.0016	0.0020	0.008	36	78	
FY2013 実績	0.013	0.009	0.009	0.019	0.000	0.0026	0.0017			67	

圧延は、加工熱処理での γ 粒微細化、仕上げ圧延後、急冷して、コイル巻き取り状態で、微細 γ 粒からのベイナイト変態のコンセプトと整合することが確認出来た。（図 8.2）

ただし、コイル先端部の水冷が行われていない箇所では、目標の組織は得られなかった。目標とするベイナイト変態温度まで冷却されなかった影響によるものと考えられる。

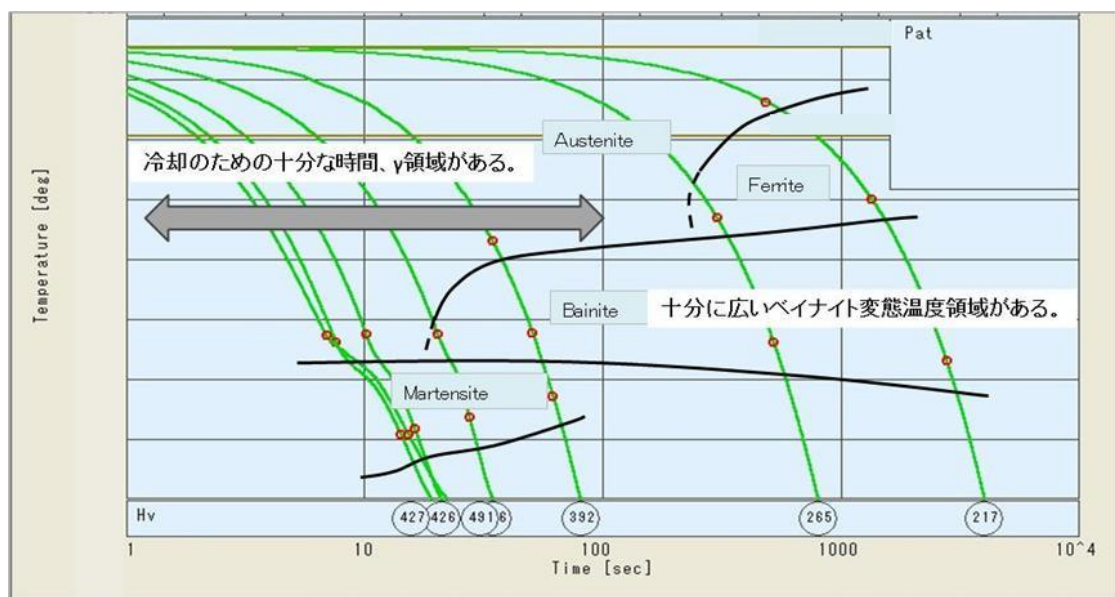
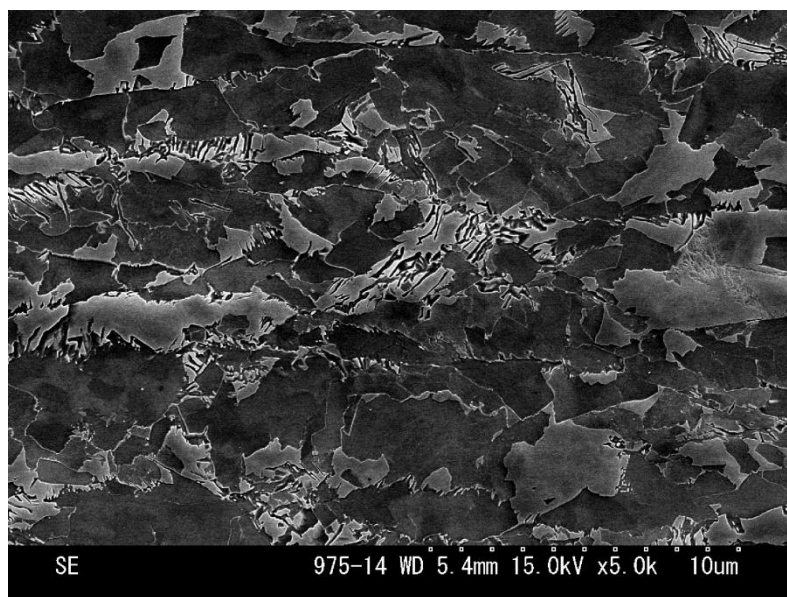


図 8.2 連続冷却曲線

高強度高延性を得られたコイル部位の組織は、 $2\text{-}3\mu\text{m}$ 程度に母地（ベイナイト相あるいはマルテンサイト相）が微細化され、また、第二相（MAあるいは析出物粒子）の均一分散がみられ、ほぼ想定通りの組織創製が出来た。（図 8.3）

(a)低倍率像



(b)高倍率像

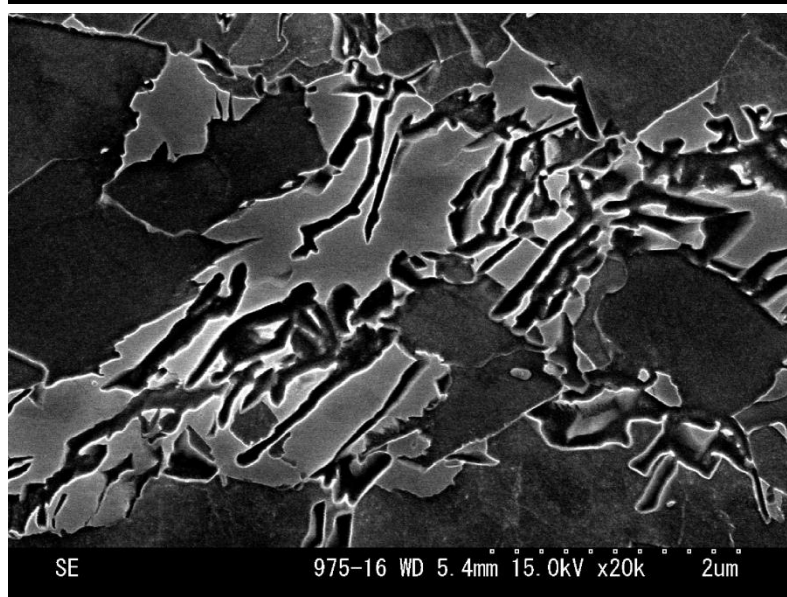


図 8.3 試作材の組織

創製組織した試作材は、狙い通りの圧延温度において、目標値以上の機械的特性が得られた。(図 8.4) ただし、異方性 (図 8.5) も見られ、これは仕上温度が設定に対して 50°C 程低めであったため、圧下加工γ組織の影響が残ったものと思われる。この異方性については設定温度まで圧延出側温度を上げ、加工オーステナイトを完全再結晶させることで解決すると考えられる。

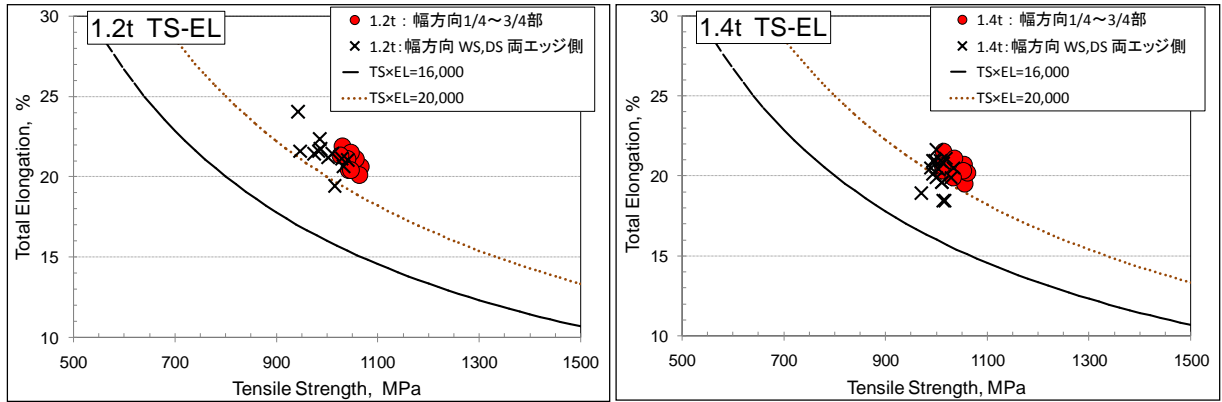


図 8.4 狙い通りの圧延温度における機械的性質のバラツキ

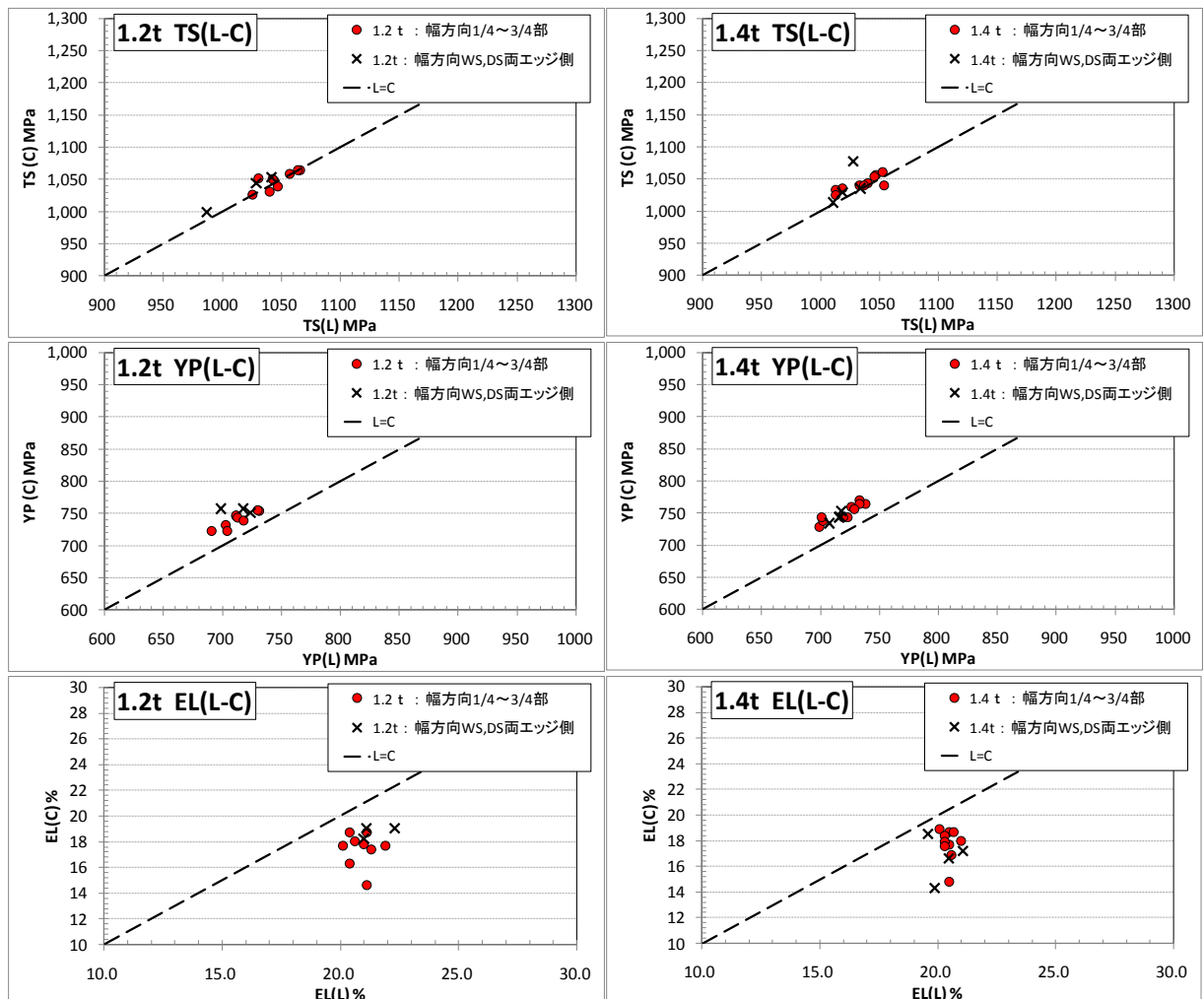


図 8.5 L-C 異方性

本試作における結果をまとめると、

- スクラップ比率 100%かつ、新断ち比率 16%で製造できた。
- 1.2mm の熱延鋼板が製造できた。
- 試作材は、引張強さ TS 590MPa 以上が達成でき、かつ、現行高炉材 980MPa 相当以上の TS×EL が得られた。
- 強度特性は、狙いの圧延温度において安定したものが得られた。
- スポット溶接は最も応力的に厳しい十字継ぎ手の剥離試験においてもボタン破断、あるいは HAZ 部破断形態を呈し、安定的破断モードを示した。
- ハット部材の衝撃試験では、破断を示さず安定座屈モードを示した。
- 遅れ破壊性は鋼板の切断面を形成し、それを 0.1N の塩酸水溶液に浸し切断面観察を行ったが、水素脆化による亀裂発生は確認できなかった。

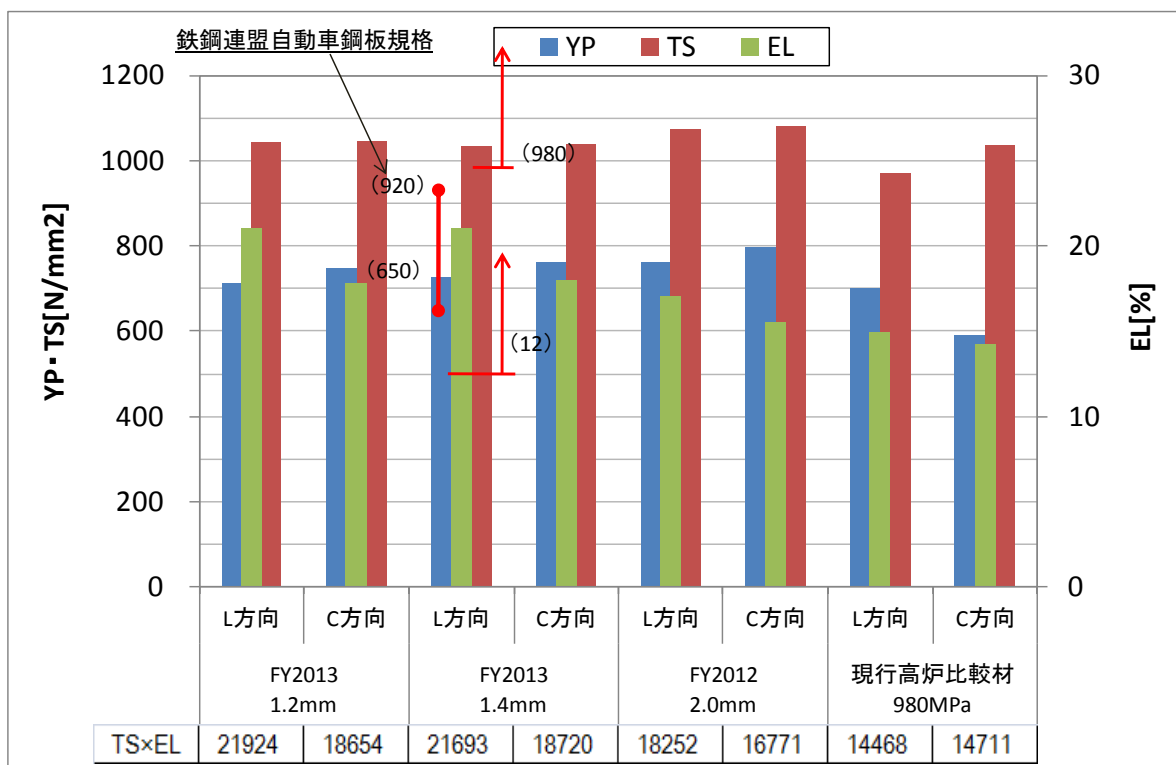
このような組織創製のプロセスにより、980MPa 相当の高強度高延性の自動車用熱延鋼板をスクラップを主原料とする電気炉鋼板から製造することができ、水平リサイクルの実現に近づいた。

9. まとめと今後

9.1 強度特性の自動車用鋼板規格との比較

本試作材の強度特性と昨年度の試作材、及び現行高炉材の比較を図 9.1 に示す。本試作材は、鉄鋼連盟自動車用鋼板規格に対して、尤度をもっていることがわかる。また、昨年度及び現行高炉材と比べても強度特性が優れていることが分かる。

圧延方向・板幅方向の異方性が見られるが、今回のコイル製造条件をみると仕上げ圧延温度が低めとなっており、仕上げ圧延の最終スタンドでの圧下加工組織の影響が残っているものと考えられる。この異方性は、仕上げ圧延出側の温度を高めシフトさせ、完全に再結晶させることにより低減できるものと考えている。



※熱延 980 は、鉄連規格が無いいため、冷延 980 の規格レンジを記載した。

※図は、平均値を示す。

図 9.1 本試作材と昨年度試作材及び現行高炉材 980MPa 材の比較

電気炉鋼板において、980MPa 材相当の鋼板を製造できることは明らかである。

9.2 今後の課題

(1) 課題と実用化に向けた取組

材料特性として、そのばらつきを更に低減するための課題としては、以下が必要である。

- ・異方性を低減すること。(仕上げ圧延温度制御範囲の明確化)
- ・コイル幅方向においてエッジ部の温度制御方法の検討(板厚 1.2mm クラスの場合)

但し、これらは試作を通じて十分解決可能と考えられる。

製造性については、圧延の安定通板性については検討を重ねる必要があるが、今回の試作を通じて制御目標の参考情報を得ることが出来た。今回の試作において、

- ・車体実用領域での板厚を量産設備で試作出来たこと、
- ・機械的特性は、現行の高炉材と比較しても十分に優れたものが得られたこと、
- ・車体性能上の重要特性についても満足出来る結果を得たこと、

が確認された。今後、自動車鋼板として仕上げていく観点と適用範囲を拡大していくために、以下の課題に取り組む必要があると考える。

- 1) 自動車用鋼板が建材向け等と最も大きく異なる特性は表面品質であり、極めて平滑な表面性状と防錆性能にリンクする均一で安定的な表面機能である。電炉鋼特有のトランプエレメントは製造プロセスを通じて表層濃化するなど表面品質への影響が指摘されており、電炉鋼表層品質制御技術として構築していく必要がある。
- 2) 表層品質制御技術を通じて、表面処理鋼板化を計り、車体の防錆鋼板仕様への適用を図っていきたい。

(2) 資源性と自動車産業への循環

図 9.2 に示すようにスクラップ中には、今回試作の高張力鋼板製造に必要な合金元素を含有している。また、廃車 (ELV) は貴重な合金元素を多く含有する貴重な鉄源とも言える。これらの合金、鉄源を有効に活かし高機能な自動車鋼板へ循環させることが出来れば、日本国内に太い鉄スクラップ資源循環の静脈を形成することができ、これは経済的にみれば価格・コストの安定に寄与すると共に、環境負荷の削減に寄与すると考えられる。これらを実現するには業界横断的な取り組みが必要であるが、本事業を切っ掛けとして資源循環の新たなビジネスモデル、あるいは環境モデル構築につなげていきたいと考える。

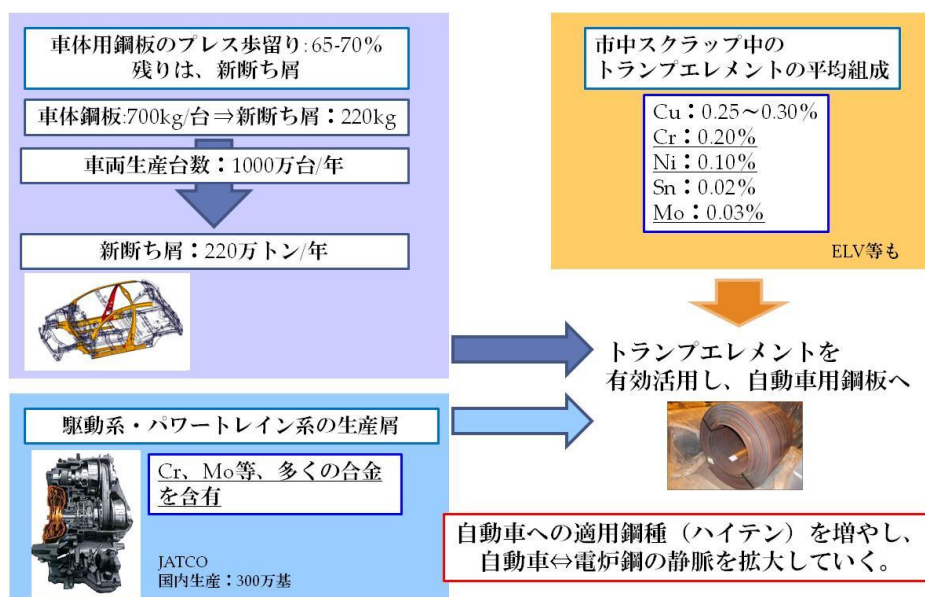


図 9.2 自動車産業への資源循環