

平成28年5月24日

JSME 発電用設備規格委員会
原子力専門委員会
委員長

JSME 発電用設備規格委員会
材料専門委員会
委員長

「SN 材の規格化のための検討について」(依頼)に対する回答

1. 検討の経緯

第 26 回材料専門委員会(平成 27 年 2 月 24 日)にて、SN 材の規格化のための検討依頼(案)に関して説明があり、平成 27 年の 2 月 25 日の原子力専門委員会にて承認後、材料専門委員会に対して正式に依頼されることを前提に、同検討依頼を検討課題とすることが承認されました。その後、下記のとおり、平成 27 年 2 月 25 日付で、原子力専門委員会より正式な検討依頼があり、検討を行いました。

2015 年 2 月 25 日

材料専門委員会委員長 殿

原子力専門委員会委員長

SN 材の規格化のための検討について (依頼)

原子力専門委員会では、「材料規格改訂方針検討タスク」(最終報告書：2012 年 02 月 13 日)において、SN 材(建築構造用圧延鋼材)の「発電用原子力設備規格 材料規格」への採用について検討すべき材料としました。

その後、傘下の材料分科会が産業界との協働により、規格化に必要な諸データを取得し、規格化のための準備が整いました。

つきましては、添付の資料により、「発電用原子力設備規格 材料規格」(添付 1. 新規材料採用ガイドライン)に基づく規格化のための検討をお願いします。

以上

2. 検討結果

SN材の規格化に必要な S_u 、 S_y 、 S 値を評価いたしましたので、下記にその結果を報告します。

なお、以降の表において、 S_T および S_Y はそれぞれ常温の最小引張強さ(MPa)、常温の最小降伏点(MPa)を示し、各材料の S_T および S_Y は下記のとおりです。

記号	S_T / MPa	板厚 / mm	S_Y / MPa
SN400B	400	40mm を超え 100mm 以下	215
SN400C		6mm 以上 40mm 以下	235
SN490B	490	40mm を超え 100m 以下	295
SN490C		6mm 以上 40mm 以下	325

2.1 S_y 値の評価結果 (単位 : MPa)

			温度 / °C													
記号	S_T MPa	S_Y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	400	215	215	187	183	175	170	166	163	159	155	150	144	139	134	130
SN400C		235	235	208	205	199	196	195	193	190	186	180	172	164	156	149
SN490B	490	295	295	264	258	247	237	229	222	215	209	203	196	190	185	180
SN490C		325	325	292	287	277	269	262	255	248	241	233	225	217	210	204

2.2 S_u 値の評価結果 (単位 : MPa)

			温度 / °C													
記号	S_T MPa	S_Y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	400	215	400	370	366	360	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359
SN400C		235	400	366	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
SN490B	490	295	490	463	458	447	439	435	434	434	434	434	434	434	434	434
SN490C		325	490	459	455	450	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449

2.3 S 値の評価結果 (単位 : MPa)

記号	S_T MPa	S_Y MPa	温度 / °C													
			-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	400	215	114	114	114	113	113	111	108	106	103	100	96.2	92.5	89.1	86.7
SN400C		235	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	110	104
SN490B	490	295	140	140	140	140	138	137	136	136	136	135	131	127	123	120
SN490C		325	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

添付資料
検討内容の詳細

目次

1. 提供データ
2. 許容値策定に際して検討した項目
3. 許容値策定方針
 - 3.1 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」添付 1. 新規材料採用ガイドラインの確認
 - 3.2 SN 材の許容値策定に関する固有の方針
4. データ解析結果
5. 考察
 - 5.1 TMCP 材について
 - 5.2 SS 材および SM 材との比較

1. 提供データ

原子力専門委員会より、SN材について、下記(第7回新材料規格化分科会 資料 7-6-1 「SN材(JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材)の規格化について」より抜粋)の情報とデータの提供を受け、検討を行いました。

目 次

(1) 材料の基本化学成分及び用途	3
(2) 材料の仕様	4
a. 適合規格	4
b. 化学成分制限	4
c. 機械的性質	5
d. 寸法制限	5
e. 形状寸法（寸法公差）	5
(3) 使用条件	5
a. 適用範囲	5
b. 温度範囲	6
c. 外圧設計が必要な機器への適用の有無	6
(4) 特徴及び使用上の留意事項	6
(5) 製造工程及び製造条件	8
(6) 化学成分	9
(7) 機械的性質	10
(8) 応力-ひずみ特性	12
(9) 室温並びに高温引張特性	13
(10) 溶接性	16
(11) 設計降伏点	17
(12) 設計引張強さ	17
(13) 許容引張応力	17

・ 供試材料の化学成分

表 7-1 供試材料の検査証明書記載内容（化学成分：SN400B 及び SN400C）

項目 種類	供試用材料(SN400)の調達仕様と調達材料の化学成分分析値										備考	
	鋼材厚さ		分類	C	Si	Mn	P	S	炭素当量(%)	溶接割れ感受性組成(%)		単位 %
	区分	調達材料										
SN400B	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.030	≤0.015	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.20	1.09	0.018	0.004	0.33	0.19		0B41(高炉材)
				0.12	0.24	1.17	0.025	0.012	0.33	0.19		0B42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.22	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.030	≤0.015	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.12	0.24	1.17	0.025	0.012	0.33	0.19		0B11(高炉材)
				0.16	0.22	0.96	0.010	0.006	0.33	0.22		0B12(高炉材)
SN400C	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.020	≤0.008	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.22	1.10	0.009	0.001	0.33	0.19		0C41(高炉材)
				0.13	0.26	1.13	0.012	0.003	0.34	0.20		0C42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.22	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.020	≤0.008	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.26	1.13	0.012	0.003	0.34	0.20		0C11(高炉材)
				0.09	0.22	0.98	0.014	0.005	0.29	0.16		0C43(電炉材)
50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.22	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.020	≤0.008	≤0.36	≤0.26	供試材No.		
		調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015					
		検査証明書 記載値	0.13	0.26	1.31	0.012	0.002	0.32	0.16		0C12(高炉材)	
			0.13	0.22	1.03	0.010	0.001	0.31	0.19		0C13(高炉材)	

表 7-2 供試材料の検査証明書記載内容（化学成分：SN490B 及び SN490C）

項目 種類	供試用材料(SN490)の調達仕様と調達材料の化学成分分析値										備考	
	鋼材厚さ		分類	C	Si	Mn	P	S	炭素当量(%)	溶接割れ感受性組成(%)		単位 %
	区分	調達材料										
SN490B	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	≤0.44	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.16	0.34	1.36	0.017	0.003	0.41	0.24		9B41(高炉材)
				0.14	0.25	1.42	0.017	0.005	0.41	0.24		9B42(電炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	≤0.46	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.15	0.28	1.44	0.026	0.012	0.41	0.23		9B11(高炉材)
				0.18	0.33	1.44	0.010	0.003	0.44	0.27		9B12(高炉材)
SN490C	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	≤0.44	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.16	0.33	1.36	0.009	0.001	0.41	0.24		9C41(高炉材)
				0.16	0.32	1.36	0.007	0.001	0.41	0.24		9C42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	≤0.46	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.14	0.35	1.24	0.008	0.001	0.37	0.22		9C11(高炉材、TMCP)
				0.13	0.35	1.25	0.007	0.001	0.36	0.21		9C12(高炉材、TMCP)
50mm を超え 100mm 以下	100 mm	検査証明書 記載値	0.16	0.27	1.43	0.012	0.002	0.42	0.24	9C13(高炉材)		

・ 供試材料の機械的性質

表 8-1 供試材料の検査証明書記載内容（機械的性質：SN400B 及び SN400C）

項目 種類	供試用材料(SN400)の調達仕様と調達材料の機械的特性							備考			
	調達材料厚さ	分類	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張 強さ	降伏比 %	伸び %	シャルピー 吸収エネルギー J(0°C)				
SN400B	40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下	N/mm ²	16を超え 40以下	16を超え 50以下	27以上	供試材No.			
		規格要求値	235以上 355以下		400以上 510以下	80以下			22以上		
		検査証明書 記載値	300		444	68			34	258	0B41(高炉材)
			296		455	65			32	179	0B42(高炉材)
			272		436	62			30	215	0B43(電炉材)
		100 mm	鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-			40を超え 100以下	40を超え 100以下	27以上
	規格要求値		215以上 335以下	400以上 510以下	80以下		24以上				
	検査証明書 記載値		244	441	55		38	65	0B11(高炉材)		
			264	451	59		39	118	0B12(高炉材)		
			278	452	62		40	221	0B13(高炉材)		
	SN400C		40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下		-	16を超え 40以下	16を超え 50以下	27以上	
		規格要求値		235以上 355以下	400以上 510以下	80以下		22以上			
検査証明書 記載値		304		450	68	34		222	0C41(高炉材)		
		307		457	67	35		220	0C42(高炉材)		
		248		425	58	36		340	0C43(電炉材)		
100 mm		鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-	16を超え 40以下		40を超え 100以下	27以上		供試材No.
		規格要求値	215以上 335以下	400以上 510以下		80以下	24以上				
		検査証明書 記載値	265	440		60	36	151		0C11(高炉材)	
			235	411		57	42	320		0C12(高炉材)	
			259	422		61	41	321		0C13(高炉材)	

表 8-2 供試材料の検査証明書記載内容（機械的性質：SN490B 及び SN490C）

項目 種類	供試用材料(SN490)の調達仕様と調達材料の機械的特性							備考			
	調達材料厚さ	分類	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張 強さ	降伏比 %	伸び %	シャルピー 吸収エネルギー J(0°C)				
SN490B	40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下	N/mm ²	16を超え 40以下	16を超え 50以下	27以上	供試材No.			
		規格要求値	325以上 445以下		490以上 610以下	80以下			21以上		
		検査証明書 記載値	390		524	74			33	249	9B41(高炉材)
			345		514	67			30	179	9B42(電炉材)
			338		516	66			28	113	9B43(高炉材)
		100 mm	鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-			40を超え 100以下	40を超え 100以下	27以上
	規格要求値		295以上 415以下	490以上 610以下	80以下		23以上				
	検査証明書 記載値		351	502	70		38	211	9B11(高炉材)		
			351	553	63		35	129	9B12(高炉材)		
			380	539	71		36	287	9B13(高炉材)		
	SN490C		40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下		-	16を超え 40以下	16を超え 50以下	27以上	
		規格要求値		325以上 445以下	490以上 610以下	80以下		21以上			
検査証明書 記載値		409		534	77	31		248	9C41(高炉材)		
		373		525	71	32		280	9C42(高炉材)		
		339		510	66	32		205	9C43(高炉材)		
100 mm		鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-	16を超え 40以下		40を超え 100以下	27以上		供試材No.
		規格要求値	295以上 415以下	490以上 610以下		80以下	23以上				
		検査証明書 記載値	384	539		71	35	219		9C11(高炉材、TMCP)	
			406	548		74	32	224		9C12(高炉材、TMCP)	
			335	503		67	38	234		9C13(高炉材)	

・室温並びに高温引張特性

表 9-1 各温度における引張試験結果 (SN400B 及び SN400C)

板厚 (mm)	SN400Bの引張試験結果											SN400Cの引張試験結果														
	素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A			B								素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A			B							
			RT	75	100	150	200	250	300	350	400	RT	75			100	150	200	250	300	350	400				
40	0B41	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C41	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	336	303	303	310	277	240	227	209	176	153		0C41	下降伏点 (MPa)	289	333	297	290	287	285	235	202	164	145	
		引張強さ (MPa)	457	452	424	416	424	464	476	484	462	426		0C41	引張強さ (MPa)	460	453	426	416	439	460	479	483	459	419	
	0B42	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C42	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	310	326	298	261	289	250	261	228	190	164		0C42	下降伏点 (MPa)	297	300	303	306	294	282	253	213	188	-	
		引張強さ (MPa)	466	459	433	424	453	490	504	509	488	449		0C42	引張強さ (MPa)	464	459	432	422	449	503	509	511	486	441	
	0B43	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C43	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	273	305	284	280	253	281	259	227	195	-		0C43	下降伏点 (MPa)	280	289	258	250	260	239	224	203	179	-	
		引張強さ (MPa)	446	440	415	409	458	511	531	517	482	443		0C43	引張強さ (MPa)	419	415	389	386	437	491	513	499	468	433	
	100	0B11	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C11	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		
			下降伏点 (MPa)	232	233	218	215	205	216	203	182	-	-		0C11	下降伏点 (MPa)	284	294	247	244	276	215	204	184	155	-
			引張強さ (MPa)	449	444	418	409	421	456	478	486	465	430		0C11	引張強さ (MPa)	446	439	414	402	398	411	429	435	426	394
0B12		試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C12	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	229	224	217	209	204	205	191	189	180	176		0C12	下降伏点 (MPa)	269	260	247	239	229	217	202	178	170	165	
		引張強さ (MPa)	445	439	410	401	401	421	439	448	434	403		0C12	引張強さ (MPa)	416	409	382	372	361	361	371	373	376	367	
0B13		試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400		0C13	試験温度 (°C)	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	292	304	292	265	260	249	220	189	-	-		0C13	下降伏点 (MPa)	297	258	258	264	232	197	167	147	-	-	
		引張強さ (MPa)	446	441	414	406	405	434	447	455	441	410		0C13	引張強さ (MPa)	428	419	389	378	367	367	377	385	393	373	

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで $2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とした。
B: ひずみ量2%まで $7.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした。

表 9-2 各温度における引張試験結果 (SN490B 及び SN490C)

板厚 (mm)	SN490Bの引張試験結果											SN490Cの引張試験結果														
	素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A			B								素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A			B							
			R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400	R.T.	75			100	150	200	250	300	350	400				
40	9B41	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C41	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	361	355	335	331	314	287	270	234	204	-		9C41	下降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	259	236	202	-	
		引張強さ (MPa)	533	526	497	486	474	480	505	509	497	463		9C41	引張強さ (MPa)	527	522	494	481	466	470	496	502	491	458	
	9B42	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C42	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	378	362	354	336	335	305	308	262	-	-		9C42	下降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	274	-	-		
		引張強さ (MPa)	501	500	474	466	473	536	544	553	522	487		9C42	引張強さ (MPa)	534	529	502	491	478	483	504	508	495	461	
	9B43	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C43	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	279	257	216	-		9C43	下降伏点 (MPa)	351	352	335	342	303	305	271	233	-		
		引張強さ (MPa)	521	514	487	477	489	510	538	545	528	491		9C43	引張強さ (MPa)	517	512	486	477	472	492	515	519	504	471	
	100	9B11	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C11	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		
			下降伏点 (MPa)	363	353	359	326	324	302	255	236	206	-		9C11	下降伏点 (MPa)	387	389	366	376	342	306	-	-		
			引張強さ (MPa)	510	506	477	467	451	453	476	493	494	461		9C11	引張強さ (MPa)	534	528	500	488	477	480	496	522	524	474
9B12		試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C12	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	350	339	330	324	296	263	250	-	-	-		9C12	下降伏点 (MPa)	369	362	348	338	324	299	-	-			
		引張強さ (MPa)	552	546	516	504	489	490	508	514	501	467		9C12	引張強さ (MPa)	532	527	499	488	477	480	498	520	522	476	
9B13		試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400		9C13	試験温度 (°C)	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			
		下降伏点 (MPa)	402	382	361	365	323	311	280	254	227	-		9C13	下降伏点 (MPa)	333	333	334	327	310	275	229	212	-		
		引張強さ (MPa)	538	533	504	492	475	475	499	515	515	483		9C13	引張強さ (MPa)	507	503	475	463	449	449	472	490	489	453	

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで $2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とした。青色網掛け部分はTMCP(Thermo-Mechanical Control Process; 加工熱処理)鋼の試験結果。
B: ひずみ量2%まで $7.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした。

2. 許容値策定に際して検討した項目

- ①「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」添付 1. 新規材料採用ガイドライン
- ②室温の定義
- ③B 材と C 材の区別
- ④TMCP 材の取り扱い
- ⑤板厚の区別
- ⑥降伏点の選択
- ⑦トレンド曲線の採用方法
- ⑧ S_y , S_u , S 値の妥当性確認

3. 許容値策定方針

3.1「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」添付 1. 新規材料採用ガイドラインの確認

同ガイドラインの付録 1 および 2 において、許容値を設定する上で不明瞭な点があったため、これを補足するための手順書案(内規)を下記のとおり作成した。SN 材の許容値策定に際しては、この手順書案を適用した。

Su、Sy 値策定のための手順書案 (内規)

1. 目的

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格における新規材料採用ガイドラインの付録 1 および 2 には、 S_y 、 S_u 値の設定方法がそれぞれ記載されている。しかし、 S_y 、 S_u 値を設定する上で不明瞭な点があるため、設定方法をより明確化するための手順を定め、付録 1 および 2 を補足することを目的とする。

2. 手順

①標本数の取り扱い

標本数は最小 3 標本とする。(新規材料採用ガイドラインの「2.提出資料」において、供試材標本数は最小 3 標本とすることが規定されており、これに整合させる)

②トレンド曲線による方法について

- ・ 標本毎に各温度における強度を常温の強度で規準化する。
- ・ 規準化した値を温度の 2 次～5 次式で、室温で定点 1 を通過する回帰分析を行い、決定係数および標準誤差を参照し、解析精度の高い次数を選択する。
- ・ 解析精度が同程度である場合、低次の次数を選択する。

・決定係数および標準誤差から評価することができる統計的な解析精度だけでなく、選択した次数を用いてトレンド曲線を得、その形状が妥当であることを確認する。トレンド曲線が温度増加に伴い上昇、低下を繰り返すなど、材料強度の一般的な温度依存性とは異なる複雑な形状になる場合には、解析で得られた他の次数によるトレンド曲線について妥当性を確認する。

③室温の取り扱い

室温は 20°Cとする。(ASME 規格*において、解析に用いる室温は 21°Cとなっており、整合性を図る。さらにケーススタディにて、20°Cと 25°Cの解析結果を比較したところ、20°Cを採用した場合では、保守的な評価結果が得られることを確認済み。)

④評価結果の妥当性について

実データが S_y 、 S_u の値を下回らないようにする。この判断基準を満足するためには、例えば解析に用いるデータの温度範囲や多項式の次数を変更するなどが考えられる。なお、参考として、材料のミルシートには、室温の降伏点として上降伏点が記載されている。

*ASME のデータ解析用ワークシートでは以下のコメントが記載されている。

1. Worksheets corresponding to each lot have been created in the workbook.
Please submit all tensile data onto these worksheets.
Denote room temperature data by 'RT' in the Temperature field.
For numerical purposes, room temperature corresponds to 21 C (69.8 F).
2. When all data has been submitted, return to the summary sheet and click the 'Data Analysis' command button.

3.2 SN 材の許容値策定に関する固有の方針

1. B 材と C 材の区別について

SN400、SN490 とも B 材と C 材を区別して解析した場合と、B 材と C 材を一括して解析した場合で、トレンド曲線に有意差がないため、両者を区別せずに S_u 値、 S_y 値を算出することとした。

2. 板厚の区別について

SN400、SN490 とも板厚 40mm 材と 100mm 材を区別して S_u 、 S_y 値を算出することとした。

3. TMCP 材の取扱い

SN490 では TMCP 材のデータが含まれていたが、TMCP 材と通常材を一括して解析することで、通常材の許容値が非保守的な結果になるため、TMCP 材を除いて評価することとした。

4. 解析上の室温の定義について

室温を 20°Cおよび 25°Cとして解析した結果、両者に大差がないこと、20°Cとした

場合の方が若干保守的となることから解析に用いる室温は 20°Cとした。なお、ASME 規格では室温に 21.1°C (70° F) を採用している。

5. Sy 値算出における下降伏点、上降伏点、0.2%耐力の選択について

Ry(当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力))は、下降伏点基準、上降伏点基準どちらの場合もばらつきの大小に有意差はないため、保守的な評価結果が想定される上降伏点基準を採用することとした。高温域では、高温ほど上降伏点および下降伏点が不明瞭になる傾向があり、降伏点または 0.2%耐力の選択基準や根拠も明確でないため、室温を超える温度域では、すべて 0.2%耐力を採用することとした。なお、材料のミルシートには、室温の降伏点として上降伏点が記載されている。

6. トレンド曲線について

Su 値および Sy 値算出には、データ解析に基づく独自のトレンド曲線を用いることとした。

7. 試験データと Su 値、Sy 値との比較

試験データが Sy 値、Su 値を下回らないことを確認した。Su 値、Sy 値の有効数字は 3 桁とした。

8. S 値について

上記方針に基づいて Su 値および Sy 値を算出し、それらを用いて S 値を算出した結果、高温域でクリープ支配となる可能性が確認された場合、類似した炭素鋼の高温域の許容応力との比較検討を詳細に進め、高温域の S 値を決めることとした。S 値の有効数字は 3 桁とした。

4. データ解析結果

データ解析の結果を下記資料にまとめた。

- ・ 第 30 回材料専門委員会 資料 30-7-1 (参考資料を参照)

5. 考察

5.1 TMCP 材について

参考資料のうち、資料 30-7-1 に示すとおり、SN490C 材(板厚 100mm)の TMCP 材の強度(降伏点、耐力、引張強さ)は通常材に比べて高く、特に 200°C以上の高温域における 0.2%耐力でその傾向が顕著であった。今回の検討では、TMCP 材と通常材を一括して解析して許容値を算出したところ、通常材を非保守的に評価する結果となったため、TMCP 材は解析に含めないこととした。通常材に比べて TMCP 材は高強度であるという特徴を有するが、TMCP 材の材料規格が存在しないため、現時点では、TMCP 材の許容値を設定することができない。今後、TMCP 材の許容値を策定する必要性が出てきた場合には、その方策を検討する必要がある。

5.2 SS 材および SM 材との比較

- ・ Sy 値について

SN400B および C 材(板厚 100mm)の Sy 値は、室温から 350°Cの温度域で SS400 や SM400(A、B、C)の Sy 値を下回った。一方、SN400B および C(板厚 40mm)の Sy 値は、SS400 や SM400(A、B、C)の Sy 値と同程度であった。

SN490B および C 材(板厚 40mm、100mm)の Sy 値は、室温から 350°Cの温度域で、SM490(A、B、C)の Sy 値を下回った。

・ Su 値について

SN400B および C 材(板厚 40mm、100mm)の Su 値は、室温から 350°Cの温度域で、SS400 および SM400(A、B、C)の Su 値を下回った。一方、SN490B および C 材(板厚 40mm)の Su 値は、100°C以上の高温域で SM490(A、B、C)の Su 値を上回った。SN490B および C(板厚 100mm)の Su 値は、100°C以上の高温域で SM490(A、B、C)の Su 値を下回った。

・ S 値について

SN400B および C(板厚 100mm)の S 値は、250°C以下では SS400 および SM400(A、B、C)の S 値より高かったが、250°Cを超える高温域では SS400 および SM400(A、B、C)よりも低かった。SN400B および C(板厚 40mm)の S 値は、室温から 350°Cまでの温度域で、SS400 および SM400(A、B、C)と同等以上であった。SN490B および C(板厚 100mm)の S 値は、350°Cで SM490(A、B、C)の値を若干下回るが、325°C以下の温度域では、SM490(A、B、C)の値より高かった。SN490B および C(板厚 40mm)の S 値は、室温から 350°Cまでの温度域で、SM490(A、B、C)より高かった。

参考

材料専門委員会および新材料規格化分科会の開催記録

第 7 回新材料規格化分科会(平成 27 年 4 月 9 日)

- ・ SN 材の許容値策定依頼内容の確認
- ・ 解析方針の確認
- ・ 解析の分担の確認

第 8 回新材料規格化分科会(平成 27 年 5 月 26 日)

- ・ TMCP 材の扱い
- ・ 降伏点の選択
- ・ 試験データが Sy、Su を下回った場合の対応

第 27 回材料専門委員会(平成 27 年 5 月 28 日)

- ・ 新材料規格化分科会での解析結果報告

第 9 回新材料規格化分科会(平成 27 年 7 月 29 日)

- ・ 試験データが Sy、Su を下回った場合の対応方針決定
- ・ トレンド曲線の選択

第 28 回材料専門委員会(平成 27 年 8 月 31 日)

- ・ 常温の許容値が JIS 材料規格値より引き下げられた場合の設計への影響
- ・ トレンド曲線の選択基準

第 10 回新材料規格化分科会(平成 27 年 11 月 24 日)

- ・ B 材、C 材の区分
- ・ 板厚の区分
- ・ トレンド曲線選択の方針決定
- ・ クリープ強度を考慮した S 値策定

第 29 回材料専門委員会(平成 27 年 11 月 26 日)

- ・ TMCP 材のアドバンテージの確認
- ・ 常温の許容値が JIS 材料規格値より引き下げられた場合の設計への影響

第 11 回新材料規格化分科会(平成 28 年 2 月 24 日)

- ・ TMCP 材の考察
- ・ 高温域でのクリープ支配の有無

第 30 回材料専門委員会(平成 28 年 3 月 10 日)

- ・ TMCP 材の取扱い

SN材の S_u , S_y , S 値の解析結果

2016年3月10日

JSME発電用設備規格委員会
材料専門委員会
新材料規格化分科会

内 容

1. 解析内容

- 対象材料
- 解析条件
- 解析用データ

2. 解析結果

- TMCP材
- パラメータ
- 室温：上／下降伏点の影響
- ベストフィットカーブ or JIS B8267の標準トレンドカーブ
- B材とC材の区別の要否
- 最適回帰次数の選択

3. 考察

1. 解析内容

□ 対象材料

- JIS G 3136
- Grade: SN400B, SN400C, SN490B, SN490C
- 板厚: 40, 100mm
- SN490C, 板厚100mmは, 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- SN490C, 板厚100mmのTMCP材は解析対象外とする

1. 解析内容

□ 解析条件

- 回帰分析：温度の2次～5次式
- 回帰分析：温度原点 T_0 =室温（RT）
- 室温（RT）：20°C
- 室温強度：室温の引張試験規格に準拠した試験結果
- 室温：下降伏点 or 上昇伏点
- > 室温：0.2%耐力
- B材&C材：個別及び一括

鋼種	規定最小降伏点		規定最小引張強さ
	板厚40mm	板厚100mm	板厚40, 100mm
SN400B, C	235MPa	215MPa	400MPa
SN490B, C	325MPa	295MPa	490MPa

1. 解析内容

□ 回帰式

Sy:

$$YS_T/YS_{RT} = a_0 + a_1(T-20) + a_2(T-20)^2 + a_3(T-20)^3 + a_4(T-20)^4 + a_5(T-20)^5$$

Su:

$$TS_T/TS_{RT} = a_0 + a_1(T-20) + a_2(T-20)^2 + a_3(T-20)^3 + a_4(T-20)^4 + a_5(T-20)^5$$

YS_{RT} 室温の上降伏点

YS_T 高温の0.2%耐力

TS_{RT} 室温の引張強さ

TS_T 高温の引張強さ

T 温度(°C)

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 定数(ただし, $a_0=1$)

1. 解析内容

□ 解析用データ: SN400B, SN400C

板厚 (mm)	SN400B													SN400C														
	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A	B									検査記録 記載値	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A	B									検査記録 記載値
		試験温度	(°C)	RT	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			試験温度	(°C)	RT	RT	75	100	150	200	250	300	350	400	
	OB41	上降伏点	(MPa)	336	303	303	310	277	240	227	209	176	153	300	上降伏点	(MPa)	289	333	297	290	287	285	235	202	164	145	304	
		下降伏点	(MPa)	277	268	254	247	239	231	224	192	169	150	-	下降伏点	(MPa)	285	268	254	247	236	227	218	185	163	144	-	
		0.2%耐力	(MPa)	296	276	264	260	244	235	232	200	181	175	-	0.2%耐力	(MPa)	290	289	262	255	243	231	219	188	176	171	-	
		引張強さ	(MPa)	457	452	424	416	424	464	476	484	462	426	444	引張強さ	(MPa)	460	453	426	416	439	460	479	483	459	419	450	
		伸び	(%)	34	34	33	32	24	23	20	24	30	33	34	伸び	(%)	35	34	33	32	27	22	20	25	31	33	34	
		絞り	(%)	75	75	75	75	70	63	57	63	72	79	-	絞り	(%)	77	78	76	76	69	63	58	63	73	79	75 ^{注2)}	
40	OB42	上降伏点	(MPa)	310	326	298	261	289	250	261	228	190	164	296	上降伏点	(MPa)	297	300	303	306	294	282	253	213	188	-	307	
		下降伏点	(MPa)	281	269	256	249	239	237	228	206	185	162	-	下降伏点	(MPa)	281	278	262	255	248	242	234	201	178	-	-	
		0.2%耐力	(MPa)	287	283	264	251	246	238	230	216	187	179	-	0.2%耐力	(MPa)	286	284	269	264	252	246	236	208	194	188	-	
		引張強さ	(MPa)	466	459	433	424	453	490	504	509	488	449	455	引張強さ	(MPa)	464	459	432	422	449	503	509	511	486	441	457	
		伸び	(%)	35	34	34	31	22	23	20	23	29	33	32	伸び	(%)	34	34	33	32	21	22	19	25	29	33	35	
		絞り	(%)	75	75	74	74	68	61	55	61	69	74	-	絞り	(%)	76	75	74	74	68	60	56	59	68	73	72 ^{注2)}	
	OB43	上降伏点	(MPa)	273	305	284	280	253	281	259	227	195	-	272	上降伏点	(MPa)	280	269	258	250	260	239	224	203	179	-	248	
		下降伏点	(MPa)	272	262	253	252	245	246	236	214	194	-	-	下降伏点	(MPa)	242	235	225	225	221	220	207	198	175	-	-	
		0.2%耐力	(MPa)	275	268	259	255	263	255	244	217	205	199	-	0.2%耐力	(MPa)	245	241	229	227	223	220	215	198	191	188	-	
		引張強さ	(MPa)	446	440	415	409	458	511	531	517	482	443	436	引張強さ	(MPa)	419	415	389	386	437	491	513	499	468	433	425	
		伸び	(%)	35	36	34	29	22	22	20	28	29	29	30	伸び	(%)	38	37	36	33	23	23	25	28	30	31	36	
		絞り	(%)	75	75	76	75	65	59	53	59	65	66	-	絞り	(%)	80	79	79	78	71	64	59	62	67	71	74 ^{注2)}	
	OB11	上降伏点	(MPa)	232	233	218	215	205	216	203	182	-	-	244	上降伏点	(MPa)	284	294	247	244	276	215	204	184	155	-	265	
		下降伏点	(MPa)	227	219	210	204	202	202	191	180	-	-	-	下降伏点	(MPa)	261	253	245	236	222	211	193	173	154	-	-	
		0.2%耐力	(MPa)	229	224	217	209	204	205	191	189	180	176	-	0.2%耐力	(MPa)	269	260	247	239	229	217	202	178	170	165	-	
		引張強さ	(MPa)	449	444	418	409	421	456	478	486	465	430	441	引張強さ	(MPa)	446	439	414	402	398	411	429	435	426	394	440	
		伸び	(%)	33	38	34	32	23	22	20	22	27	31	38	伸び	(%)	34	34	34	33	27	23	24	25	29	33	36	
		絞り	(%)	72	73	74	73	67	59	55	59	65	70	-	絞り	(%)	75	75	76	76	73	69	62	66	75	83	72 ^{注2)}	
100	OB12	上降伏点	(MPa)	279	269	250	231	237	241	198	163	-	-	264	上降伏点	(MPa)	274	290	276	247	210	220	187	153	-	-	235	
		下降伏点	(MPa)	228	229	216	212	204	198	179	157	-	-	-	下降伏点	(MPa)	237	234	222	217	206	198	164	153	-	-	-	
		0.2%耐力	(MPa)	238	236	220	217	207	201	186	173	169	167	-	0.2%耐力	(MPa)	242	243	231	224	213	202	168	164	160	158	-	
		引張強さ	(MPa)	445	439	410	401	401	421	439	448	434	403	451	引張強さ	(MPa)	416	409	382	372	361	361	371	373	376	367	411	
		伸び	(%)	34	34	36	32	27	23	21	23	29	33	39	伸び	(%)	38	40	37	37	33	30	31	30	30	37	42	
		絞り	(%)	71	70	71	71	66	60	55	57	65	76	-	絞り	(%)	81	82	83	83	81	78	75	77	83	88	79 ^{注2)}	
	OB13	上降伏点	(MPa)	292	304	292	265	260	249	220	189	-	-	278	上降伏点	(MPa)	297	258	258	264	232	197	167	147	-	-	259	
		下降伏点	(MPa)	259	245	241	237	227	224	200	178	-	-	-	下降伏点	(MPa)	234	234	217	214	198	174	159	142	-	-	-	
		0.2%耐力	(MPa)	261	254	248	240	230	226	211	190	180	178	-	0.2%耐力	(MPa)	252	236	226	221	203	183	161	160	154	152	-	
		引張強さ	(MPa)	446	441	414	406	405	434	447	455	441	410	452	引張強さ	(MPa)	428	419	389	378	367	367	377	385	393	373	422	
		伸び	(%)	34	36	34	33	25	24	22	23	29	33	40	伸び	(%)	37	36	38	37	32	31	31	32	34	43	41	
		絞り	(%)	75	74	76	74	71	64	60	62	69	76	-	絞り	(%)	75	75	77	77	77	76	75	75	81	86	72 ^{注2)}	

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで、 $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。
B: ひずみ量2%まで、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。

注2) JIS G 3136では“C材”に対する厚さ方向特性として板厚方向の“絞り”要求を課している。
一方、本試験結果においては圧延方向の測定結果。

1. 解析内容

□ 解析用データ: SN490B, SN490C

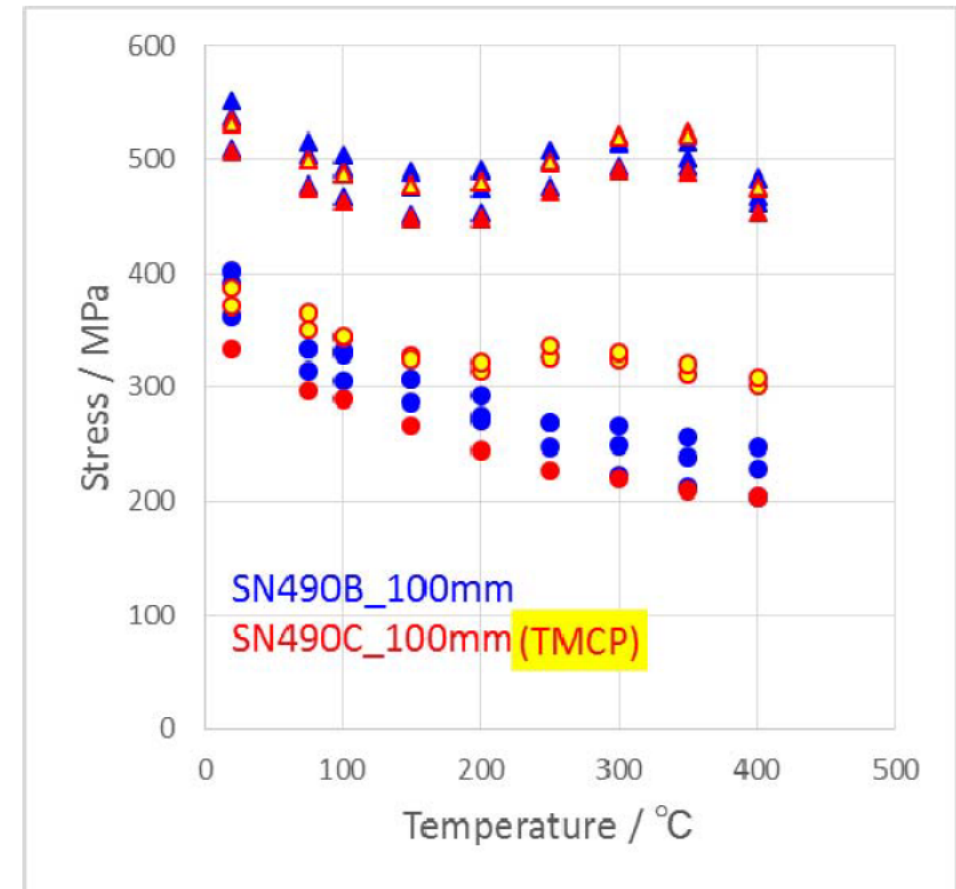
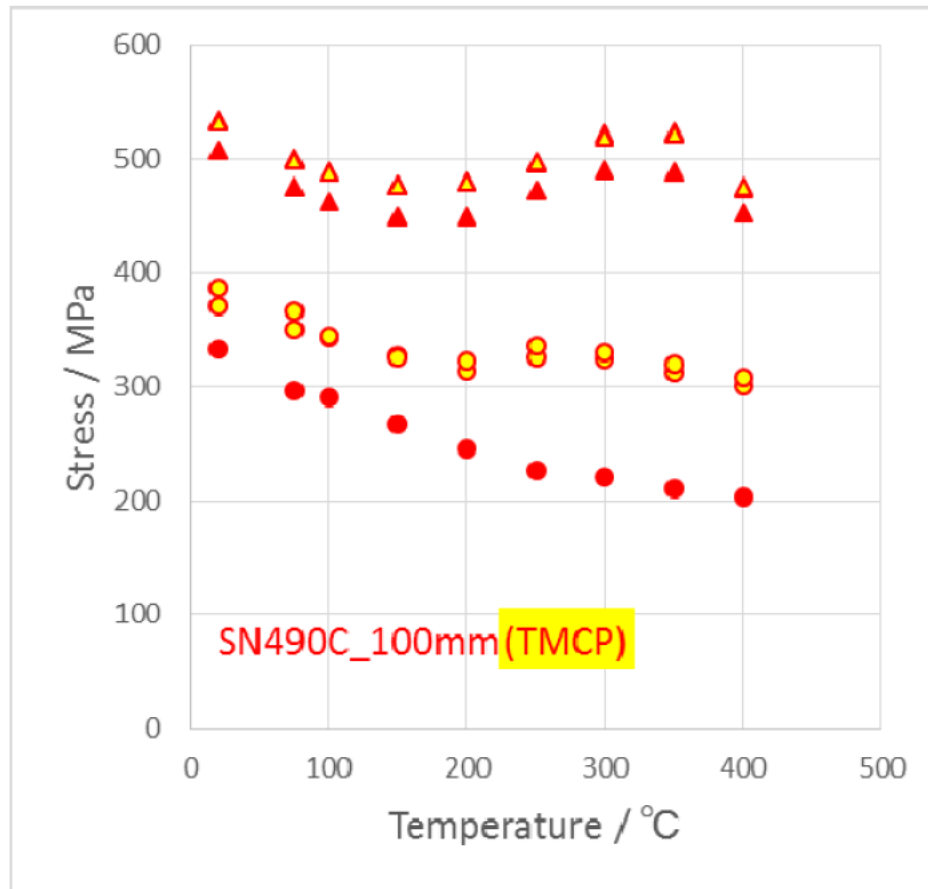
板厚 (mm)	SN490B													SN490C														
	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値
		試験温度	(°C)	R.T.	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			試験温度	(°C)	R.T.	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400	
	9B41	上降伏点 (MPa)	361	355	335	331	314	287	270	234	204	-	390	9C41	上降伏点 (MPa)	385	384	371	342	341	293	259	236	202	-	409		
		下降伏点 (MPa)	338	331	316	308	291	271	252	229	202	-	-		下降伏点 (MPa)	348	344	325	320	295	272	254	226	201	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	350	341	324	316	302	275	253	242	230	223	-		-	0.2%耐力 (MPa)	357	357	341	329	313	278	255	233	219	212	-	-
		引張強さ (MPa)	533	526	497	486	474	480	505	509	497	463	524		引張強さ (MPa)	527	522	494	481	466	470	496	502	491	458	534		
		伸び (%)	30	31	30	30	26	26	24	27	31	36	33		伸び (%)	31	32	32	31	28	27	25	28	31	35	31		
		絞り (%)	77	75	78	76	76	72	67	72	80	86	-	絞り (%)	77	77	78	79	77	72	65	73	82	86	72 ^{注2)}			
40	9B42	上降伏点 (MPa)	378	362	354	336	335	305	308	262	-	-	345	9C42	上降伏点 (MPa)	394	388	381	342	340	316	274	-	-	-	373		
		下降伏点 (MPa)	320	324	310	305	298	293	272	254	-	-	-		下降伏点 (MPa)	352	348	331	326	305	269	257	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	334	332	319	313	302	293	280	256	238	235	-		-	0.2%耐力 (MPa)	367	361	342	338	317	278	259	254	247	239	-	
		引張強さ (MPa)	501	500	474	466	473	536	544	553	522	487	514		引張強さ (MPa)	534	529	502	491	478	483	504	508	495	461	525		
		伸び (%)	31	33	30	29	22	21	19	24	28	28	30		伸び (%)	30	29	29	29	26	25	24	26	31	35	32		
		絞り (%)	76	75	76	76	68	58	54	58	64	70	-	絞り (%)	76	78	77	79	76	72	63	71	81	86	74 ^{注2)}			
	9B43	上降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	279	257	216	-	338	9C43	上降伏点 (MPa)	351	352	335	342	303	305	271	233	-	-	339		
		下降伏点 (MPa)	327	322	306	302	293	287	274	241	214	-	-		下降伏点 (MPa)	330	321	310	300	295	281	259	231	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	335	329	314	307	297	289	277	248	237	226	-		-	0.2%耐力 (MPa)	332	326	315	308	296	288	266	256	245	241	-	
		引張強さ (MPa)	521	514	487	477	489	510	538	545	528	491	516		引張強さ (MPa)	517	512	486	477	472	492	515	519	504	471	510		
		伸び (%)	31	33	33	30	23	21	21	22	26	30	28		伸び (%)	31	32	31	30	23	22	21	23	28	31	32		
		絞り (%)	73	75	76	73	70	61	57	59	67	76	-	絞り (%)	77	77	77	77	73	65	60	72	80	73 ^{注2)}				
	9B11	上降伏点 (MPa)	363	353	359	326	324	302	255	236	206	-	351	9C11 TMCP	上降伏点 (MPa)	387	389	366	376	342	306	-	-	-	-	384		
		下降伏点 (MPa)	316	312	302	297	277	256	245	221	201	-	-		下降伏点 (MPa)	369	352	348	338	322	300	-	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	334	327	315	305	287	271	248	222	213	203	-		-	0.2%耐力 (MPa)	370	365	350	343	327	314	326	324	312	301	-	
		引張強さ (MPa)	510	506	477	467	451	453	476	493	494	461	502		引張強さ (MPa)	534	528	500	488	477	480	496	522	524	474	539		
		伸び (%)	33	34	33	32	31	29	26	28	32	37	308		伸び (%)	29	30	28	28	25	25	25	26	34	35	35		
		絞り (%)	76	76	76	77	75	72	69	64	80	86	-	絞り (%)	78	78	79	79	79	78	76	75	81	85	69 ^{注2)}			
100	9B12	上降伏点 (MPa)	391	385	359	348	329	287	251	-	-	-	351	9C12 TMCP	上降伏点 (MPa)	382	388	370	347	341	300	-	-	-	-	406		
		下降伏点 (MPa)	350	339	330	324	296	263	250	-	-	-	-		下降伏点 (MPa)	369	362	348	338	324	299	-	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	353	349	333	329	307	275	269	267	256	248	-		-	0.2%耐力 (MPa)	371	364	351	345	325	322	336	330	320	308	-	
		引張強さ (MPa)	552	546	516	504	489	490	508	514	501	467	553		引張強さ (MPa)	532	527	499	488	477	480	498	520	522	476	548		
		伸び (%)	29	30	31	29	26	25	24	25	30	35	35		伸び (%)	29	28	29	28	25	24	26	26	35	36	32		
		絞り (%)	72	73	71	73	71	65	58	61	78	86	-	絞り (%)	79	79	80	80	80	80	79	78	84	86	37 ^{注2)}			
	9B13	上降伏点 (MPa)	402	382	361	365	323	311	280	254	227	-	380	9C13	上降伏点 (MPa)	333	333	334	327	310	275	229	212	-	-	335		
		下降伏点 (MPa)	353	337	324	322	302	282	263	248	225	-	-		下降伏点 (MPa)	307	300	284	274	257	232	222	211	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	370	353	334	332	307	293	270	249	239	228	-		-	0.2%耐力 (MPa)	309	304	297	290	267	245	227	220	210	203	-	
		引張強さ (MPa)	538	533	504	492	476	475	499	515	515	483	539		引張強さ (MPa)	507	503	475	463	449	449	472	490	489	453	503		
		伸び (%)	32	33	33	32	33	27	27	29	32	39	36		伸び (%)	35	34	34	33	30	30	28	29	34	38	38		
		絞り (%)	78	78	78	77	78	75	70	72	79	85	-	絞り (%)	78	78	78	78	77	76	69	74	82	87	48 ^{注2)}			

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで、 $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。
B: ひずみ量2%まで、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。

注2) JIS G 3136では“C材”に対する厚さ方向特性として板厚方向の“絞り”要求を課している。
一方、本試験結果においては圧延方向の測定結果。

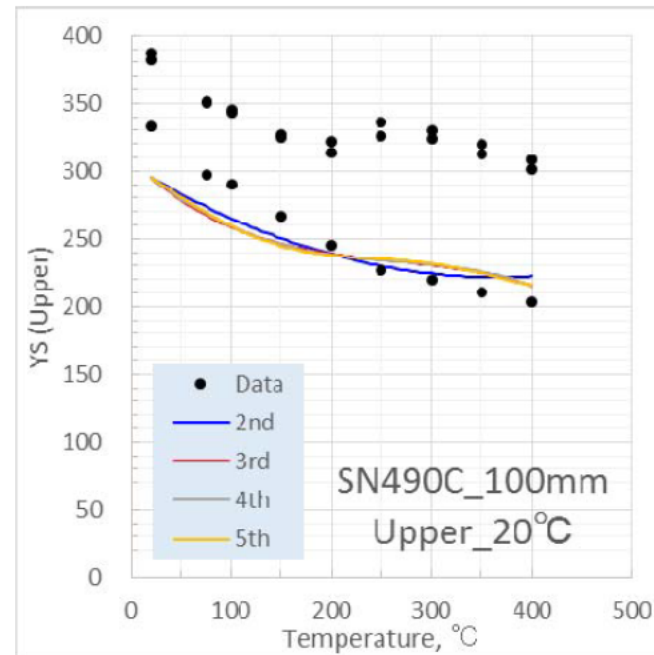
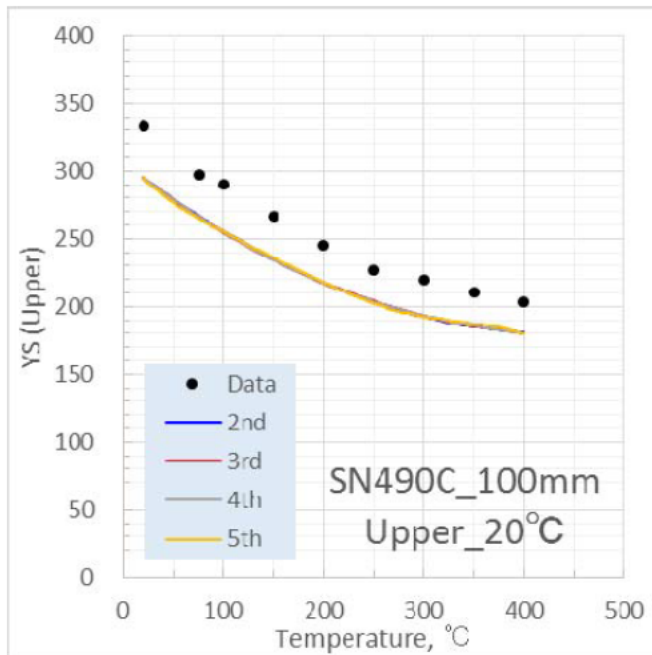
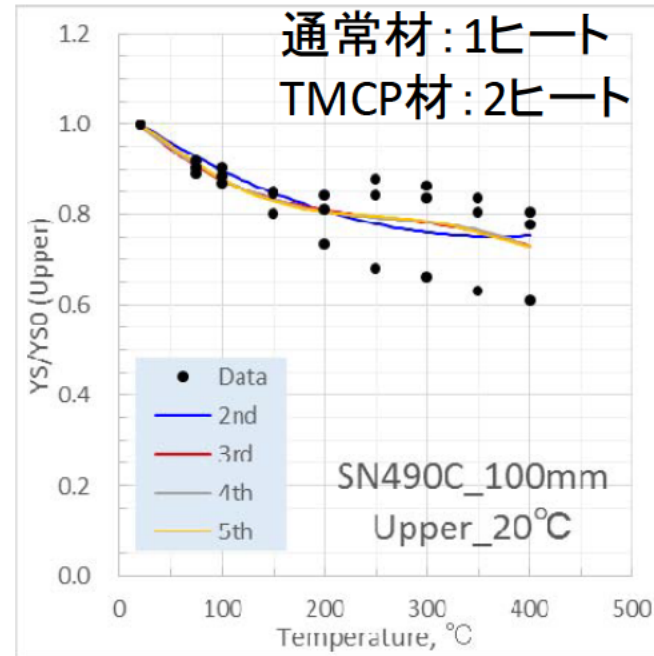
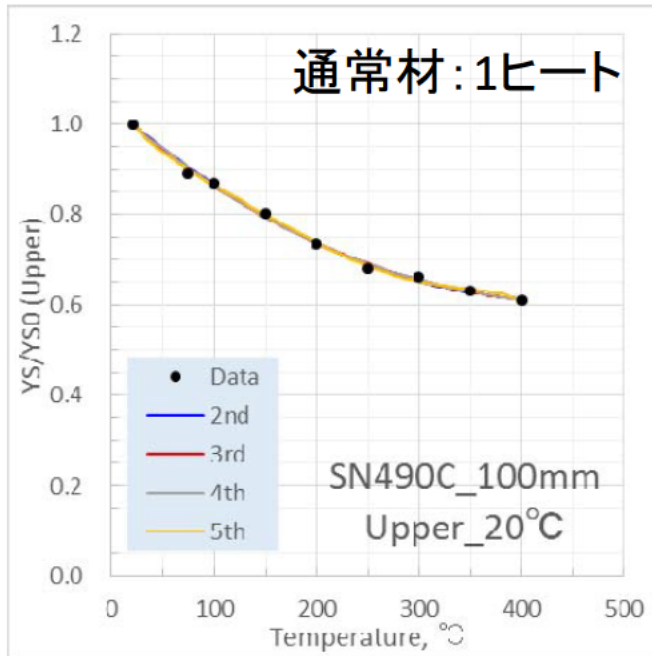
2. 解析結果: TMCP材

- SN490B, 板厚100mm: 通常材3ヒート
- SN490C, 板厚100mm: 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- TMCP材: Thermo-Mechanical Control Process (制御圧延, 制御冷却等の加工熱処理プロセス)を用いて組織制御を行い, 機械的性質を向上させている
- SN490C通常材の強度はSN490Bの下限程度であるが, TMCP材は強度が高く, とくに200°C以上の高温域における0.2%耐力でその傾向が顕著である



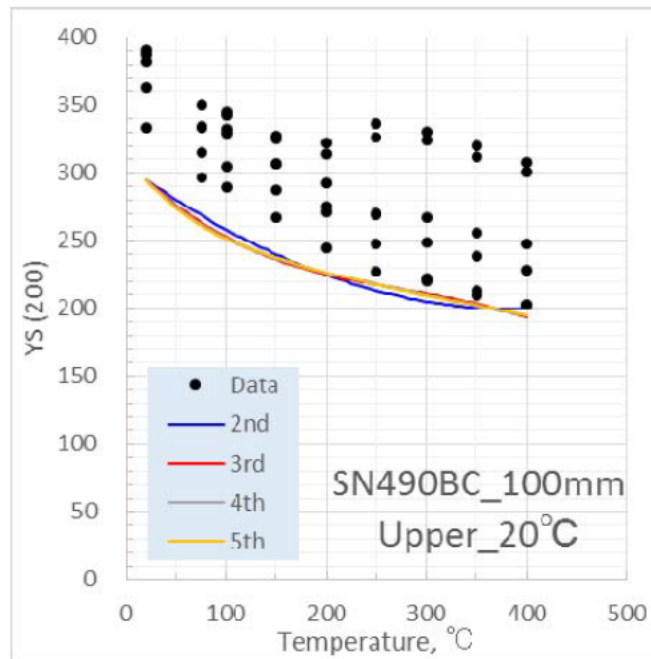
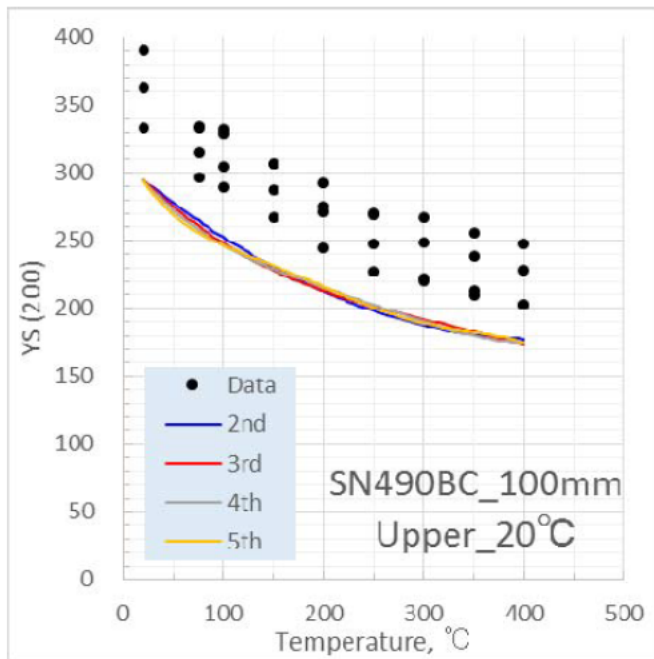
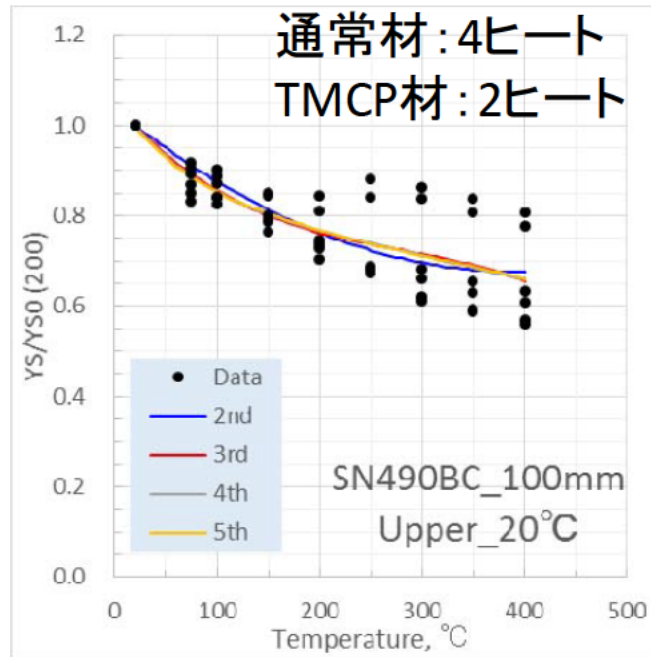
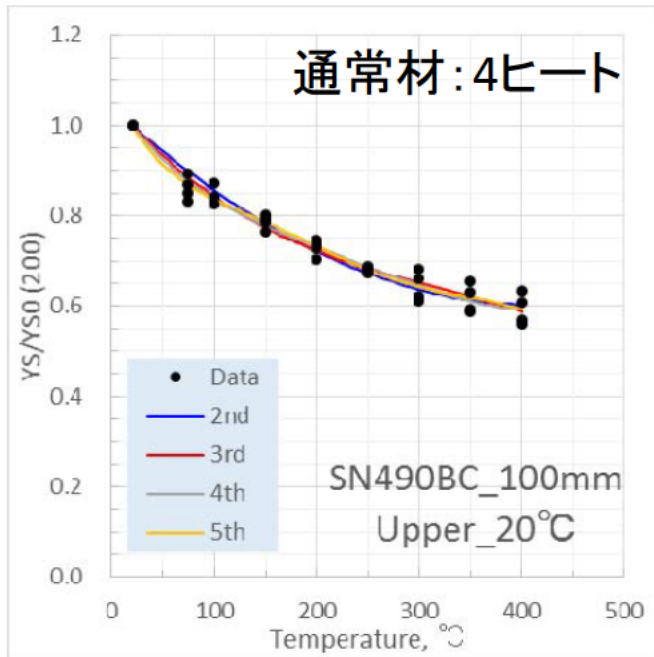
2. 解析結果: TMCP材-Sy

SN490C_100mm



- 通常材に比べてTMCP材は強度が高く、とくに200°C以上の高温域で両者の強度差が増大する
- 通常材とTMCP材では、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)が大きく異なる
- TMCP材を含めて解析すると、通常材の強度を非保守的に評価する

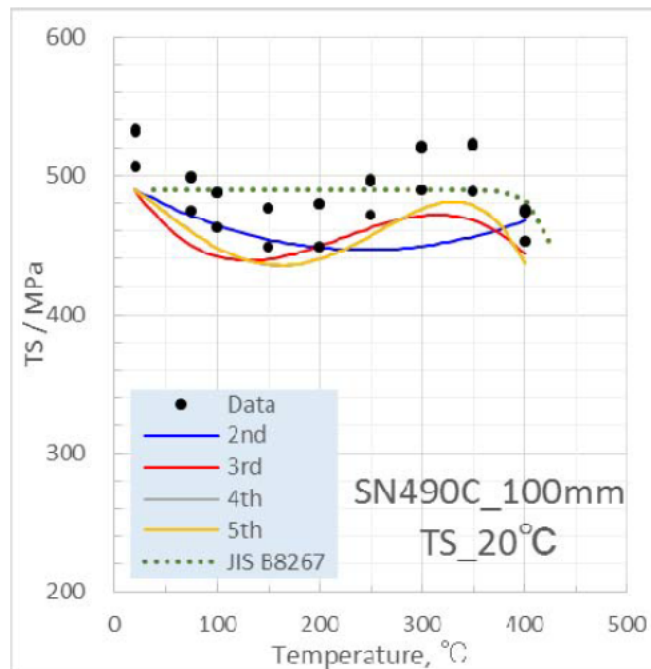
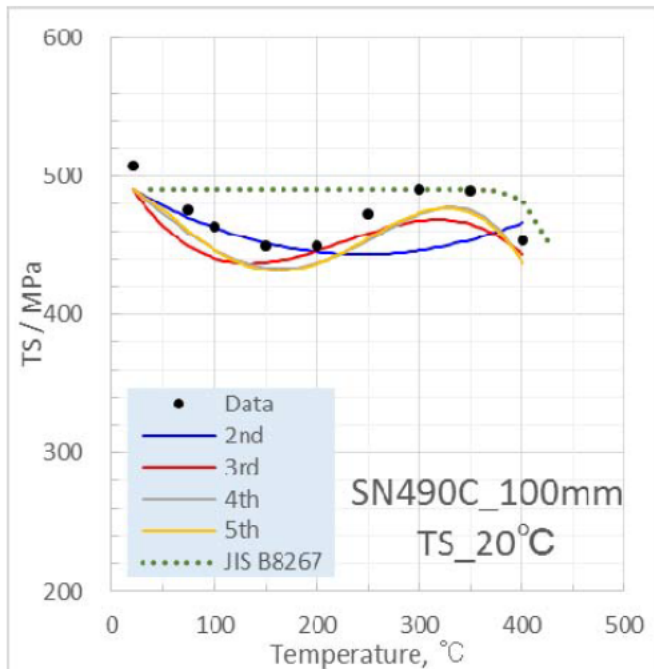
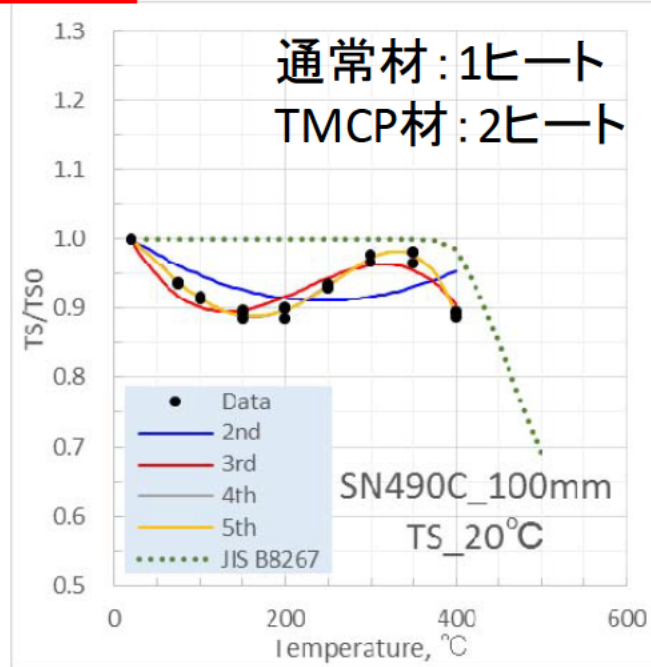
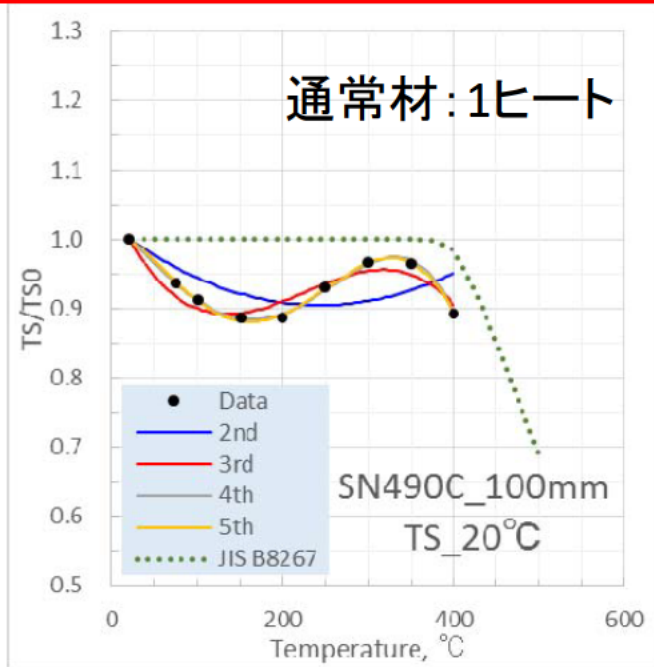
2. 解析結果: TMCP材-Sy



SN490B_100mm
SN490C_100mm

- 通常材に比べてTMCP材は強度が高く、とくに200°C以上の高温域で両者の強度差が増大する
- 通常材とTMCP材では、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)が大きく異なる
- TMCP材を含めて解析すると、通常材の強度の評価結果は十分な保守性を担保することができない

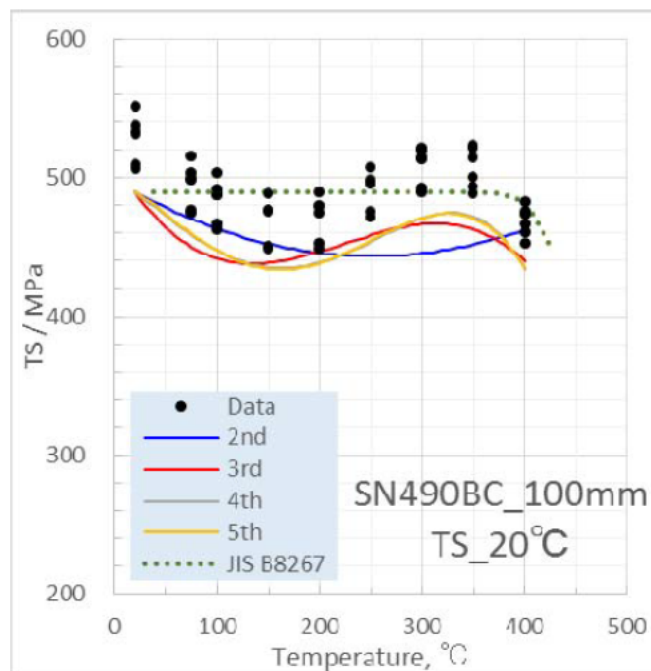
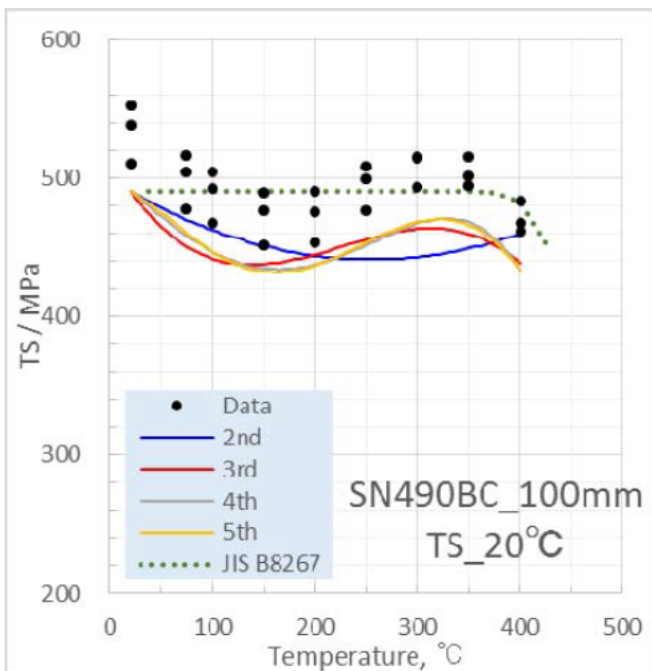
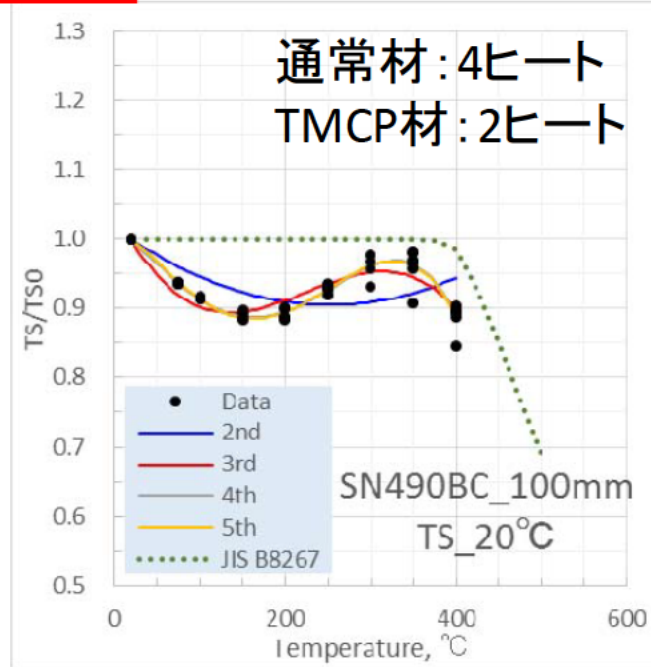
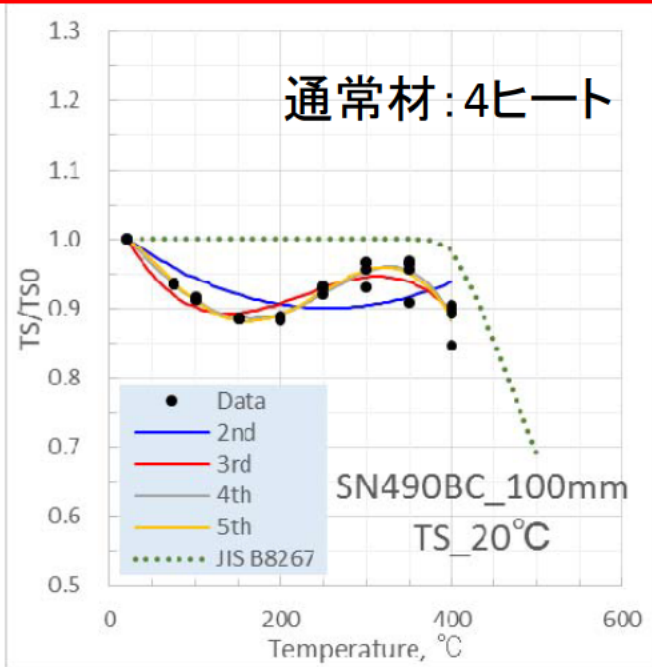
2. 解析結果: TMCP材-Su



SN490C_100mm

- 通常材に比べてTMCP材は全試験温度範囲で強度が高い
- 通常材とTMCP材で、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)に有意差は認められない
- TMCP材を含めて解析しても、非保守的な評価にはならない

2. 解析結果: TMCP材-Su



SN490B_100mm
SN490C_100mm

- B材とC材をまとめて評価すると, 通常材とTMCP材の強度に有意差は認められない
- 通常材とTMCP材で, 強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)に有意差は認められない
- TMCP材を含めて解析しても, 非保守的な評価にはならない

2. 解析結果：TMCP材

- SN490B, 板厚100mm: 通常材3ヒート
- SN490C, 板厚100mm: 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- TMCP材: Thermo-Mechanical Control Process (制御圧延, 制御冷却等の加工熱処理プロセス)を用いて組織制御を行い, 機械的性質を向上させている
- SN490C通常材の強度はSN490Bの下限程度であるが, TMCP材は強度が高く, とくに200°C以上の高温域における0.2%耐力でその傾向が顕著である
- S_y の温度依存性(トレンドカーブの形状)は通常材とTMCP材で大きく異なるが, S_u の温度依存性には通常材とTMCP材で有意差は認められない
- SN490C材の強度をTMCP材を含めて解析しても, S_u は非保守的な結果にはならないが, 通常材の S_y を非保守的に評価する
- SN490B材とSN490C材の強度をTMCP材を含めて解析しても, S_u は非保守的な結果にはならないが, 通常材の S_y の評価結果は十分な保守性を担保することができない
- 以上の検討結果から, TMCP材のデータを除外して, S_y , S_u , S値を評価する

2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=40\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-5.999E-04	-7.890E-04	-1.904E-03	-1.015E-03	-1.456E-03	-2.361E-03	-4.116E-03	-4.050E-03
	a2	-7.958E-07	8.101E-07	1.824E-05	-2.886E-06	1.193E-06	8.880E-06	3.634E-05	3.477E-05
	a3		-3.039E-09	-8.127E-08	7.988E-08		-1.455E-08	-1.378E-07	-1.258E-07
	a4			1.061E-10	-3.851E-10			1.672E-10	1.307E-10
	a5				5.196E-13				3.856E-14
	R2	0.96059	0.96123	0.96721	0.96811	0.88698	0.89491	0.90294	0.90295
	SE	0.03935	0.03983	0.03742	0.03773	0.09059	0.08916	0.08752	0.08949
SN400C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-8.050E-04	-8.134E-04	-1.824E-03	-1.376E-03	-1.450E-03	-1.999E-03	-3.479E-03	-3.559E-03
	a2	-1.701E-07	-9.903E-08	1.571E-05	5.061E-06	1.284E-06	5.942E-06	2.909E-05	3.099E-05
	a3		-1.345E-10	-7.108E-08	1.014E-08		-8.815E-09	-1.127E-07	-1.272E-07
	a4			9.624E-11	-1.514E-10			1.409E-10	1.852E-10
	a5				2.619E-13				-4.686E-14
	R2	0.93607	0.93607	0.94071	0.94092	0.97629	0.97970	0.98636	0.98637
	SE	0.05162	0.05268	0.05183	0.05290	0.03839	0.03626	0.03036	0.03104
SN400B SN400C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-7.025E-04	-8.012E-04	-1.864E-03	-1.195E-03	-1.453E-03	-2.180E-03	-3.797E-03	-3.805E-03
	a2	-4.830E-07	3.556E-07	1.698E-05	1.087E-06	1.238E-06	7.411E-06	3.271E-05	3.288E-05
	a3		-1.587E-09	-7.618E-08	4.501E-08		-1.168E-08	-1.252E-07	-1.265E-07
	a4			1.012E-10	-2.682E-10			1.540E-10	1.579E-10
	a5				3.908E-13				-4.148E-15
	R2	0.94708	0.94725	0.95252	0.95302	0.92795	0.93346	0.94081	0.94081
	SE	0.04539	0.04576	0.04384	0.04405	0.06833	0.06630	0.06316	0.06380

2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=100\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-7.823E-04	-6.119E-04	-1.183E-03	-1.079E-03	-1.774E-03	-2.491E-03	-3.834E-03	-4.515E-03
	a2	1.136E-07	-1.334E-06	7.601E-06	5.120E-06	2.362E-06	8.451E-06	2.945E-05	4.564E-05
	a3		2.740E-09	-3.736E-08	-1.844E-08		-1.152E-08	-1.058E-07	-2.292E-07
	a4			5.439E-11	-3.284E-12			1.278E-10	5.041E-10
	a5				6.101E-14				-3.979E-13
	R2	0.97522	0.97589	0.97791	0.97793	0.92275	0.92814	0.93323	0.93354
	SE	0.02751	0.02769	0.02707	0.02767	0.07197	0.07084	0.06976	0.07116
SN400C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.124E-03	-3.177E-04	-3.252E-04	-1.203E-03	-2.406E-03	-2.876E-03	-4.041E-03	-5.838E-03
	a2	3.527E-07	-6.498E-06	-6.380E-06	1.448E-05	3.312E-06	7.303E-06	2.554E-05	6.825E-05
	a3		1.297E-08	1.244E-08	-1.467E-07		-7.553E-09	-8.937E-08	-4.151E-07
	a4			7.161E-13	4.857E-10			1.110E-10	1.104E-09
	a5				-5.130E-13				-1.050E-12
	R2	0.98404	0.99221	0.99222	0.99283	0.97434	0.97573	0.97803	0.97931
	SE	0.02990	0.02132	0.02177	0.02137	0.05358	0.05318	0.05169	0.05128
SN400B SN400C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.532E-04	-4.648E-04	-7.542E-04	-1.141E-03	-2.090E-03	-2.683E-03	-3.938E-03	-5.176E-03
	a2	2.332E-07	-3.916E-06	6.104E-07	9.801E-06	2.837E-06	7.877E-06	2.750E-05	5.694E-05
	a3		7.853E-09	-1.246E-08	-8.255E-08		-9.539E-09	-9.757E-08	-3.221E-07
	a4			2.755E-11	2.412E-10			1.194E-10	8.040E-10
	a5				-2.260E-13				-7.241E-13
	R2	0.95848	0.96236	0.96273	0.96288	0.93645	0.93922	0.94255	0.94331
	SE	0.04157	0.03996	0.04016	0.04049	0.07394	0.07301	0.07169	0.07194

2. 解析結果: パラメータ, SN490B/C, $t=40\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-6.470E-04	-2.857E-04	-6.359E-04	-4.368E-04	-1.716E-03	-2.285E-03	-3.462E-03	-4.135E-03
	a2	-5.290E-07	-3.599E-06	1.879E-06	-2.854E-06	1.914E-06	6.755E-06	2.516E-05	4.116E-05
	a3		5.809E-09	-1.877E-08	1.733E-08		-9.163E-09	-9.176E-08	-2.138E-07
	a4			3.334E-11	-7.669E-11			1.120E-10	4.839E-10
	a5				1.164E-13				-3.934E-13
	R2	0.96739	0.96995	0.97060	0.97065	0.98950	0.99272	0.99642	0.99670
	SE	0.03420	0.03350	0.03385	0.03459	0.02729	0.02319	0.01662	0.01631
SN490C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.834E-04	-3.038E-04	-3.309E-05	-5.553E-04	-1.784E-03	-1.874E-03	-2.328E-03	-3.448E-03
	a2	1.861E-07	-5.587E-06	-9.822E-06	2.589E-06	2.029E-06	2.793E-06	9.882E-06	3.652E-05
	a3		1.093E-08	2.993E-08	-6.472E-08		-1.446E-09	-3.326E-08	-2.364E-07
	a4			-2.578E-11	2.628E-10			4.315E-11	6.624E-10
	a5				-3.052E-13				-6.550E-13
	R2	0.96868	0.97556	0.97585	0.97611	0.97668	0.97676	0.97727	0.97800
	SE	0.03846	0.03468	0.03521	0.03581	0.04218	0.04298	0.04342	0.04368
SN490B SN490C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-8.152E-04	-2.948E-04	-3.345E-04	-4.960E-04	-1.750E-03	-2.080E-03	-2.895E-03	-3.792E-03
	a2	-1.714E-07	-4.593E-06	-3.972E-06	-1.325E-07	1.971E-06	4.774E-06	1.752E-05	3.884E-05
	a3		8.368E-09	5.580E-09	-2.370E-08		-5.305E-09	-6.251E-08	-2.251E-07
	a4			3.782E-12	9.304E-11			7.760E-11	5.732E-10
	a5				-9.441E-14				-5.242E-13
	R2	0.96243	0.96702	0.96703	0.96706	0.98263	0.98367	0.98538	0.98587
	SE	0.03874	0.03665	0.03701	0.03737	0.03506	0.03433	0.03281	0.03258

2. 解析結果：パラメータ, SN490B/C, $t=100\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.600E-04	-4.601E-04	-1.849E-04	-2.813E-04	-2.054E-03	-2.570E-03	-3.260E-03	-4.227E-03
	a2	1.148E-07	-4.132E-06	-8.437E-06	-6.145E-06	2.631E-06	7.016E-06	1.781E-05	4.077E-05
	a3		8.037E-09	2.736E-08	9.871E-09		-8.299E-09	-5.672E-08	-2.319E-07
	a4			-2.621E-11	2.709E-11			6.568E-11	5.996E-10
	a5				-5.638E-14				-5.648E-13
	R2	0.98466	0.98847	0.98878	0.98878	0.99086	0.99300	0.99403	0.99450
	SE	0.02664	0.02358	0.02376	0.02428	0.02831	0.02529	0.02386	0.02341
SN490C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.152E-03	-5.328E-04	1.807E-04	1.463E-04	-1.855E-03	-1.912E-03	-1.870E-03	-2.481E-03
	a2	5.919E-07	-4.673E-06	-1.583E-05	-1.501E-05	2.204E-06	2.683E-06	2.029E-06	1.655E-05
	a3		9.964E-09	6.003E-08	5.380E-08		-9.075E-10	2.026E-09	-1.087E-07
	a4			-6.792E-11	-4.891E-11			-3.980E-12	3.336E-10
	a5				-2.010E-14				-3.571E-13
	R2	0.99254	0.99784	0.99973	0.99973	0.99943	0.99946	0.99946	0.99968
	SE	0.02128	0.01236	0.00479	0.00534	0.00725	0.00762	0.00832	0.00720
SN490B SN490C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.008E-03	-4.783E-04	-9.349E-05	-1.744E-04	-2.005E-03	-2.406E-03	-2.913E-03	-3.790E-03
	a2	2.341E-07	-4.267E-06	-1.029E-05	-8.362E-06	2.524E-06	5.933E-06	1.386E-05	3.472E-05
	a3		8.519E-09	3.553E-08	2.085E-08		-6.451E-09	-4.203E-08	-2.011E-07
	a4			-3.664E-11	8.093E-12			4.827E-11	5.331E-10
	a5				-4.731E-14				-5.129E-13
	R2	0.98598	0.99015	0.99074	0.99075	0.99210	0.99343	0.99400	0.99440
	SE	0.02553	0.02173	0.02139	0.02173	0.02567	0.02376	0.02305	0.02262

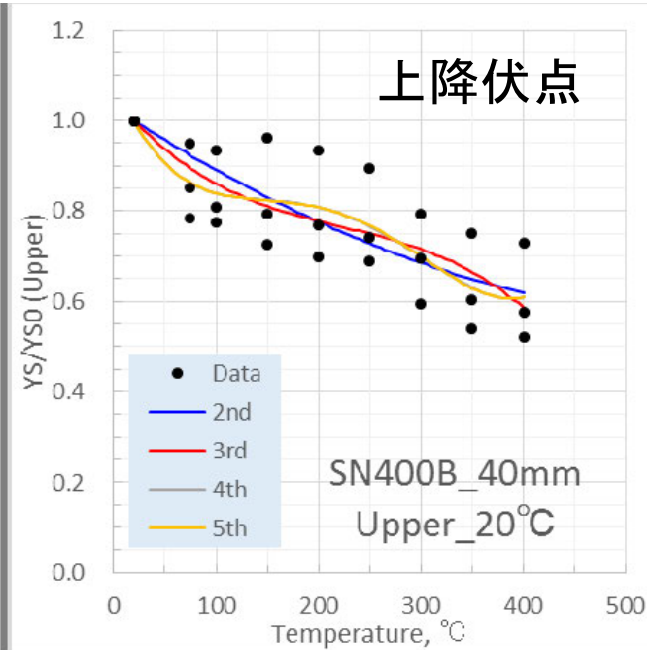
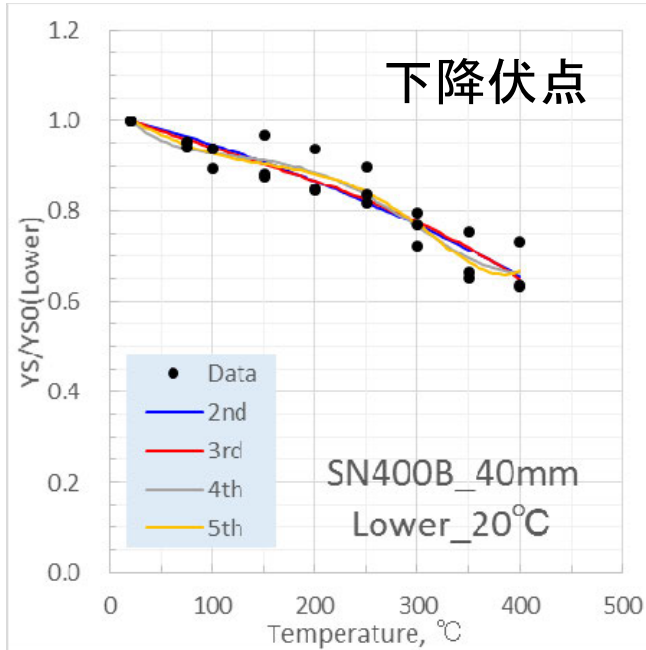
2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=40$, 100mm, $RT=20^{\circ}\text{C}$

引張強さ		板厚: 40mm				板厚: 100mm			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	2.834E-04	-2.086E-03	-3.418E-03	-2.807E-03	-3.420E-04	-2.297E-03	-2.546E-03	-1.654E-03
	a2	-5.442E-07	1.959E-05	4.041E-05	2.591E-05	8.382E-07	1.745E-05	2.134E-05	1.432E-07
	a3		-3.811E-08	-1.315E-07	-2.091E-08		-3.144E-08	-4.889E-08	1.128E-07
	a4			1.267E-10	-2.105E-10			2.367E-11	-4.691E-10
	a5				3.567E-13				5.212E-13
	R2	0.12906	0.72515	0.77567	0.77817	0.16641	0.84838	0.85134	0.86032
	SE	0.07601	0.04358	0.04022	0.04089	0.05736	0.02497	0.02525	0.02503
SN400C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	4.005E-04	-2.071E-03	-3.591E-03	-3.121E-03	-1.025E-03	-2.251E-03	-1.994E-03	-1.789E-03
	a2	-8.266E-07	2.017E-05	4.394E-05	3.277E-05	2.181E-06	1.259E-05	8.579E-06	3.700E-06
	a3		-3.974E-08	-1.464E-07	-6.119E-08		-1.971E-08	-1.688E-09	3.552E-08
	a4			1.447E-10	-1.151E-10			-2.444E-11	-1.379E-10
	a5				2.748E-13				1.200E-13
	R2	0.16521	0.65708	0.70706	0.70819	0.84687	0.94909	0.95029	0.95048
	SE	0.08543	0.05588	0.05276	0.05384	0.03981	0.02343	0.02364	0.02413
SN400B SN400C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	3.420E-04	-2.079E-03	-3.504E-03	-2.964E-03	-6.835E-04	-2.274E-03	-2.270E-03	-1.721E-03
	a2	-6.854E-07	1.988E-05	4.218E-05	2.934E-05	1.510E-06	1.502E-05	1.496E-05	1.922E-06
	a3		-3.892E-08	-1.390E-07	-4.105E-08		-2.557E-08	-2.529E-08	7.414E-08
	a4			1.357E-10	-1.628E-10			-3.850E-13	-3.035E-10
	a5				3.157E-13				3.206E-13
	R2	0.14699	0.68359	0.73358	0.73528	0.49400	0.74318	0.74318	0.74506
	SE	0.07941	0.04884	0.04526	0.04557	0.05897	0.04242	0.04284	0.04312

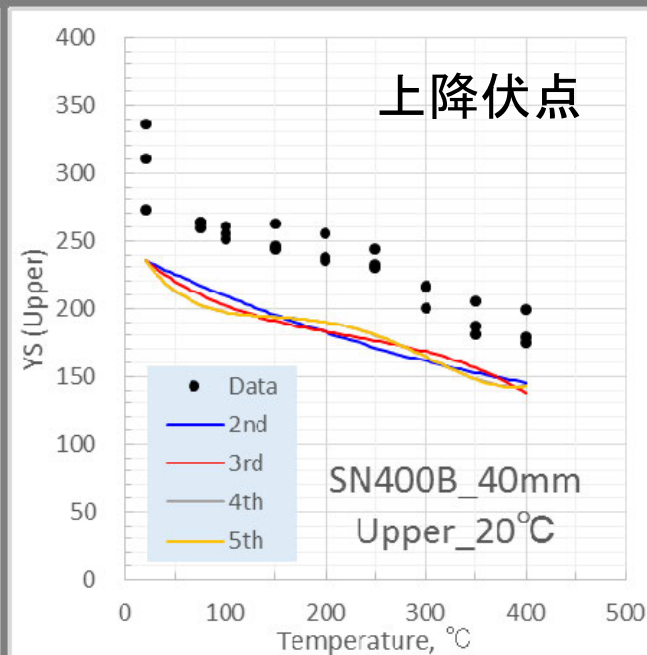
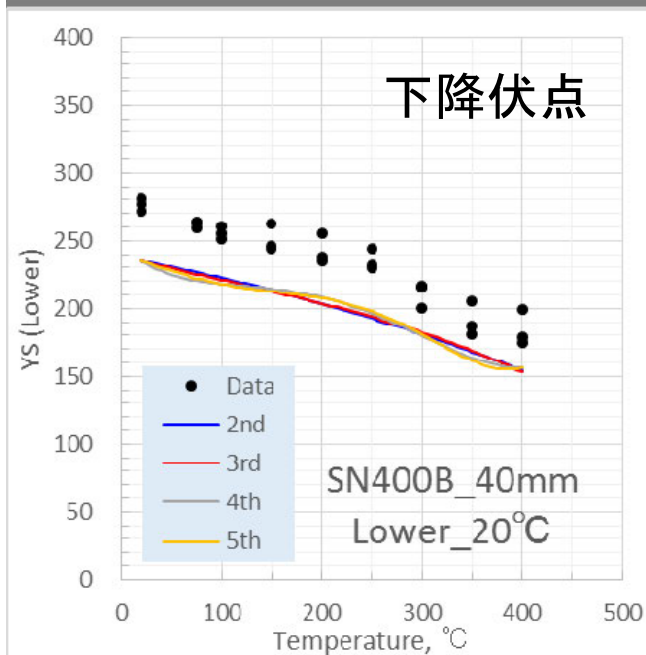
2. 解析結果：パラメータ, SN490B/C, $t=40$, 100mm, $RT=20^{\circ}\text{C}$

引張強さ		板厚: 40mm				板厚: 100mm			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-2.547E-04	-2.049E-03	-2.259E-03	-1.192E-03	-8.490E-04	-2.067E-03	-1.273E-03	-7.803E-04
	a2	5.698E-07	1.581E-05	1.911E-05	-6.273E-06	1.776E-06	1.212E-05	-2.923E-07	-1.200E-05
	a3		-2.885E-08	-4.364E-08	1.499E-07		-1.958E-08	3.612E-08	1.254E-07
	a4			2.007E-11	-5.700E-10			-7.556E-11	-3.478E-10
	a5				6.242E-13				2.879E-13
	R2	0.09882	0.57154	0.57330	0.58391	0.82003	0.95640	0.97196	0.97337
	SE	0.06572	0.04625	0.04715	0.04761	0.03712	0.01865	0.01528	0.01522
SN490C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-6.148E-04	-1.995E-03	-1.611E-03	-6.231E-04	-8.536E-04	-2.161E-03	-1.130E-03	-7.710E-04
	a2	1.145E-06	1.288E-05	6.859E-06	-1.662E-05	1.909E-06	1.302E-05	-3.110E-06	-1.164E-05
	a3		-2.220E-08	4.799E-09	1.838E-07		-2.103E-08	5.135E-08	1.164E-07
	a4			-3.663E-11	-5.824E-10			-9.819E-11	-2.966E-10
	a5				5.773E-13				2.099E-13
	R2	0.70775	0.92855	0.93315	0.94031	0.78954	0.96820	0.99804	0.99889
	SE	0.04215	0.02127	0.02102	0.02031	0.04110	0.01726	0.00470	0.00395
SN490B SN490C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-4.348E-04	-2.022E-03	-1.935E-03	-9.073E-04	-8.501E-04	-2.090E-03	-1.237E-03	-7.780E-04
	a2	8.574E-07	1.434E-05	1.298E-05	-1.145E-05	1.809E-06	1.235E-05	-9.967E-07	-1.191E-05
	a3		-2.552E-08	-1.942E-08	1.669E-07		-1.994E-08	3.993E-08	1.232E-07
	a4			-8.276E-12	-5.762E-10			-8.122E-11	-3.350E-10
	a5				6.007E-13				2.684E-13
	R2	0.34898	0.67532	0.67558	0.68424	0.81127	0.95709	0.97563	0.97689
	SE	0.05833	0.04160	0.04200	0.04185	0.03707	0.01794	0.01373	0.01358

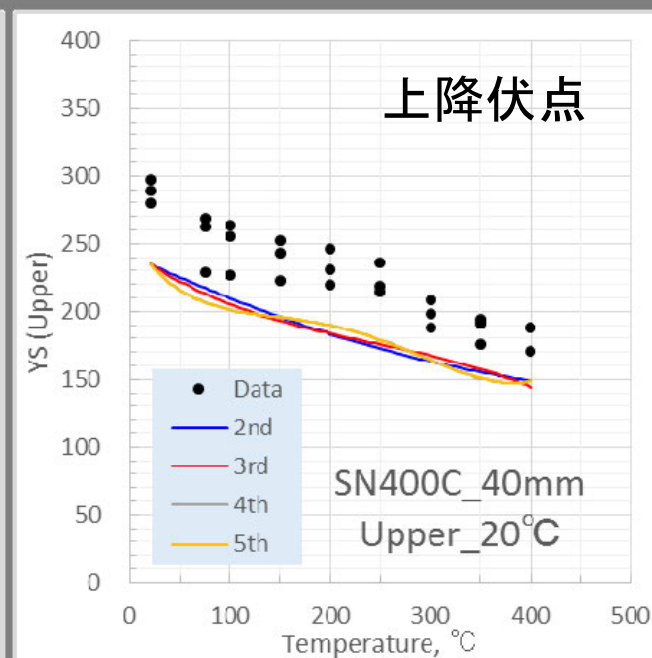
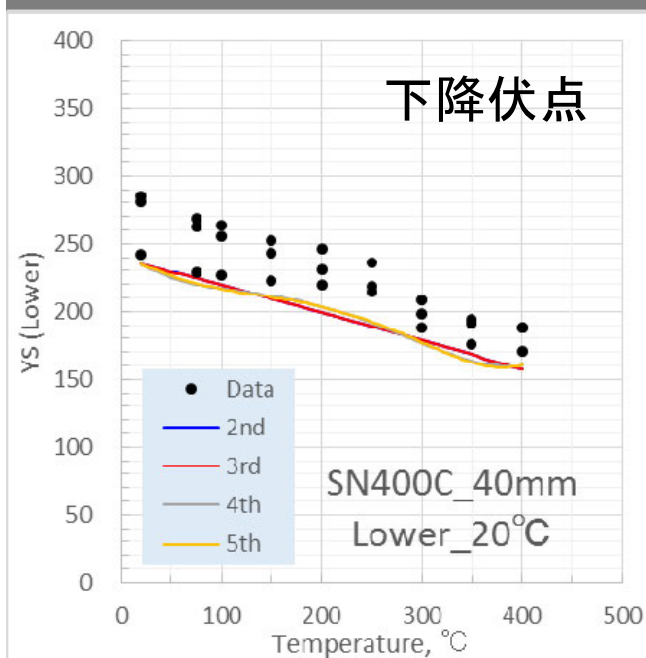
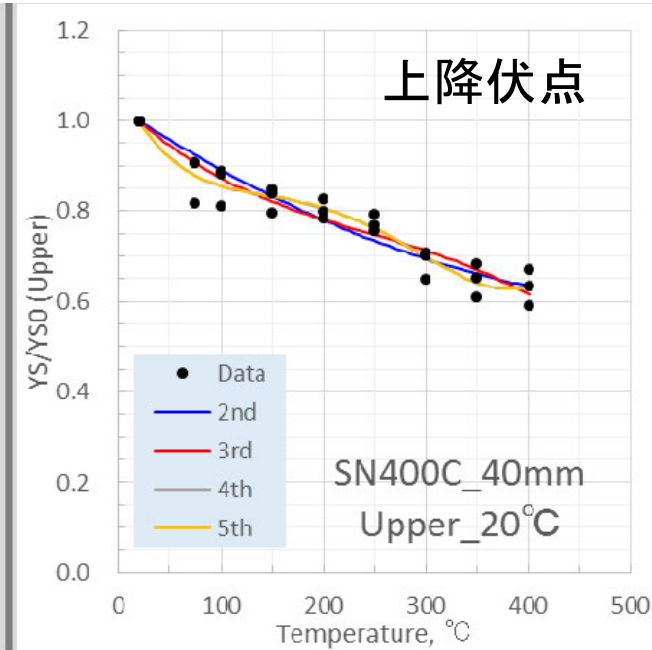
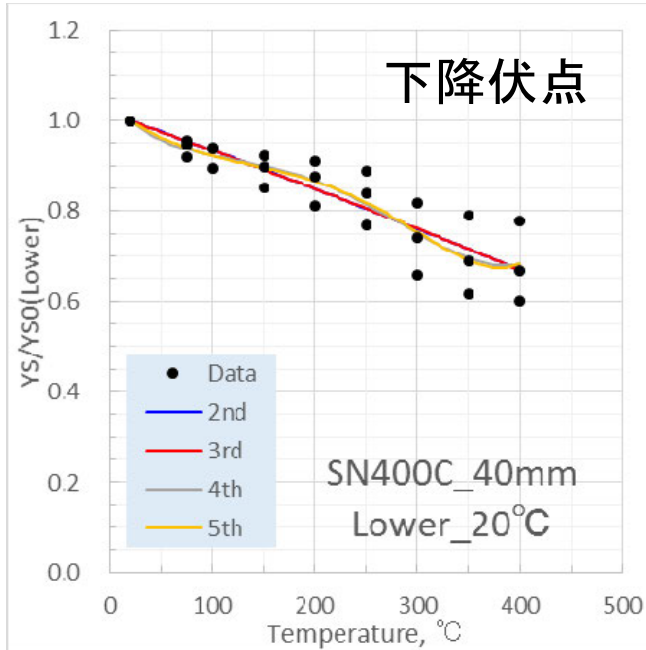
2. 下降伏点／上降伏点_SN400B_40mm



- 下降伏点に比べて, 上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて, 上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

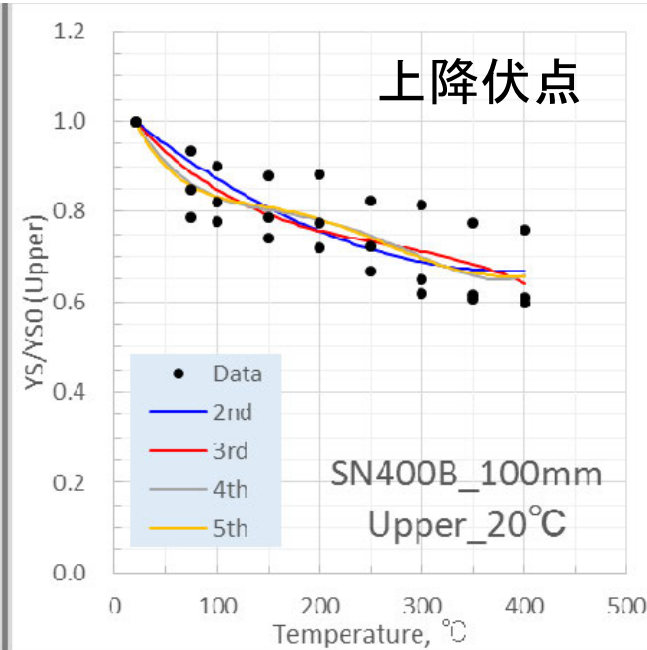
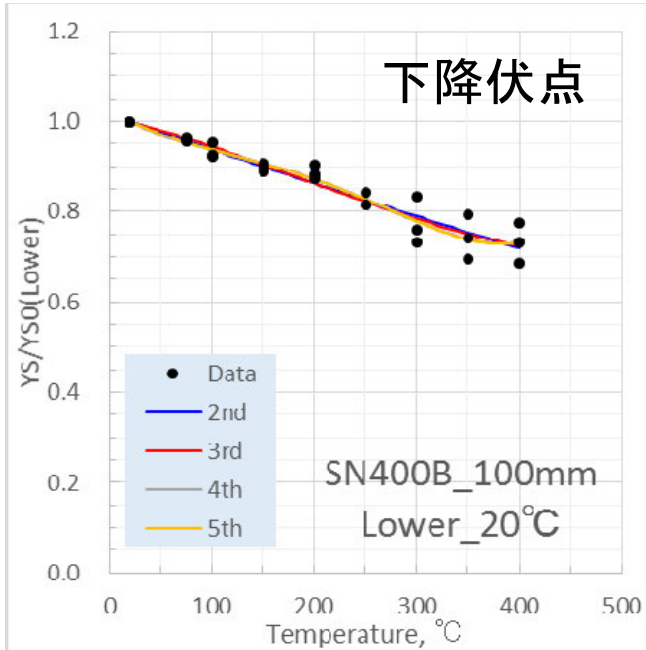


2. 下降伏点／上降伏点_SN400C_40mm

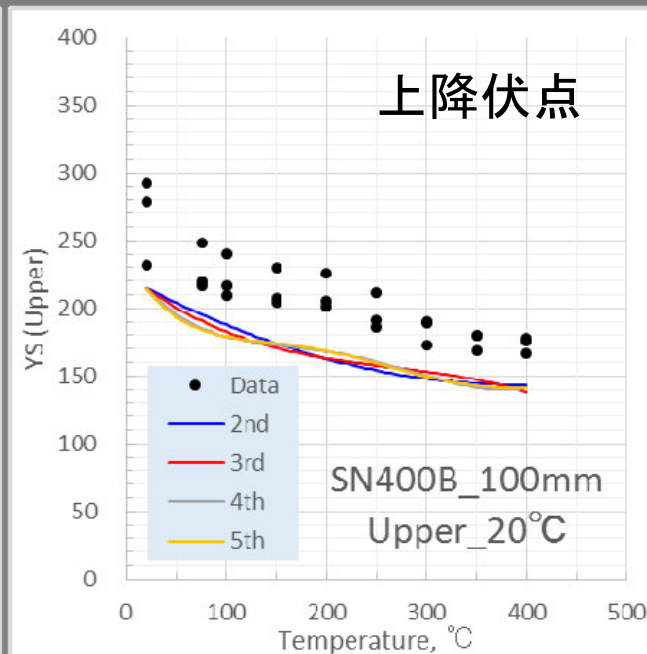
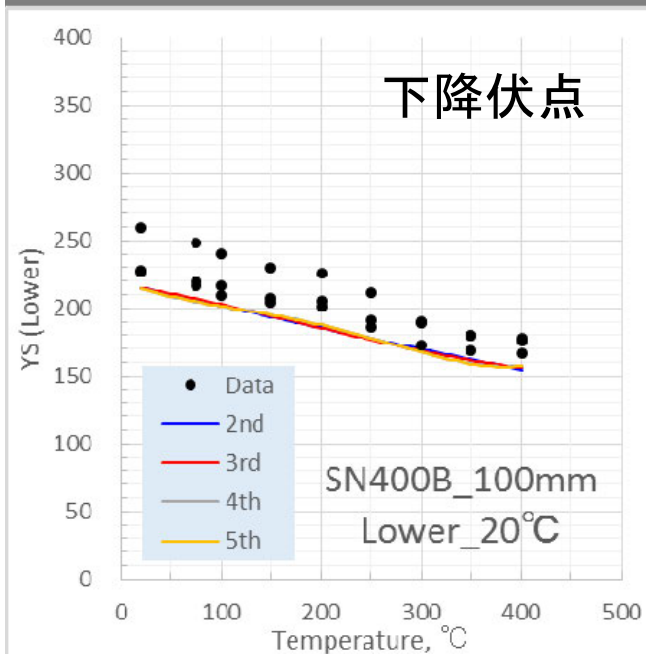


- SN400B(40mm)材とは異なり、200°C以上の高温域では上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度は小さい
- 下降伏点に比べて、上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

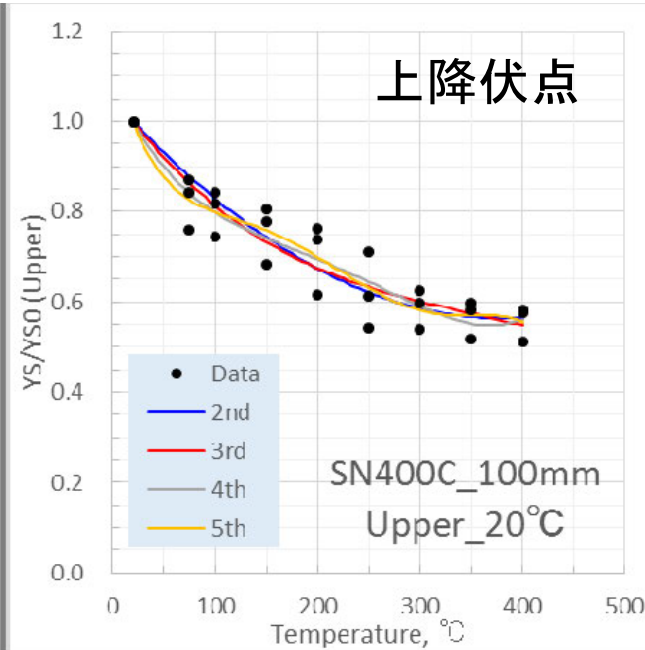
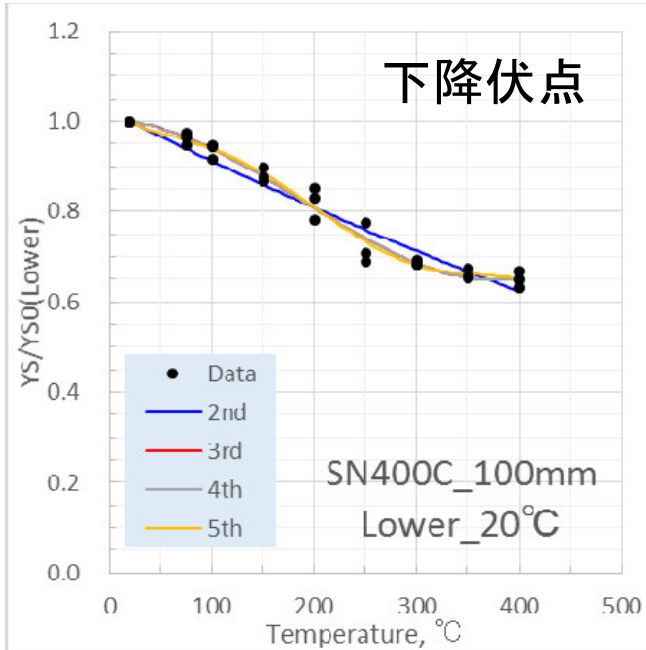
2. 下降伏点／上降伏点_SN400B_100mm



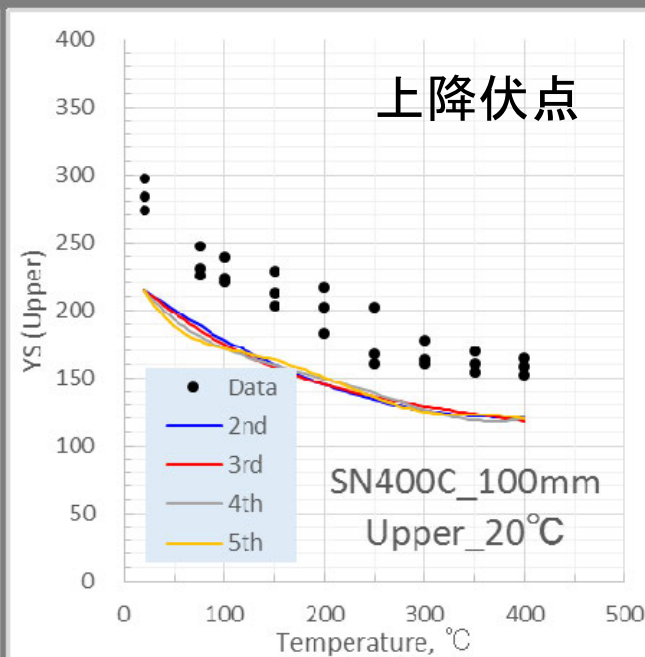
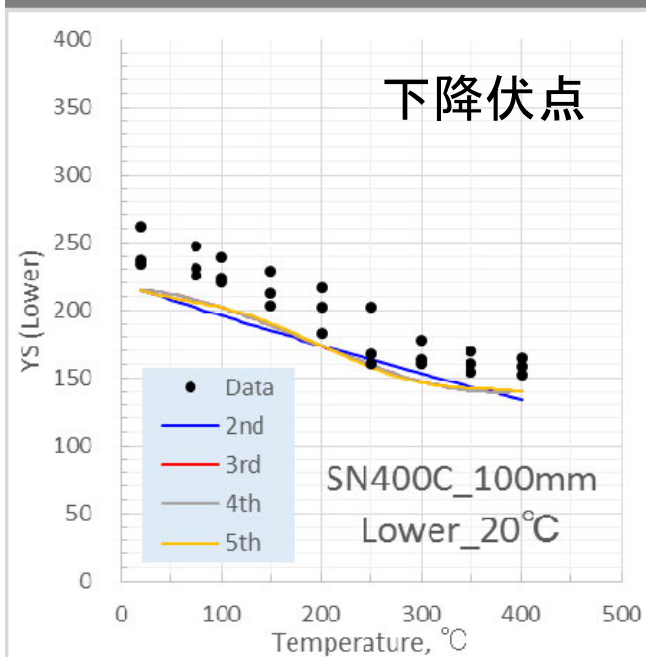
- 下降伏点に比べて，上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて，上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい



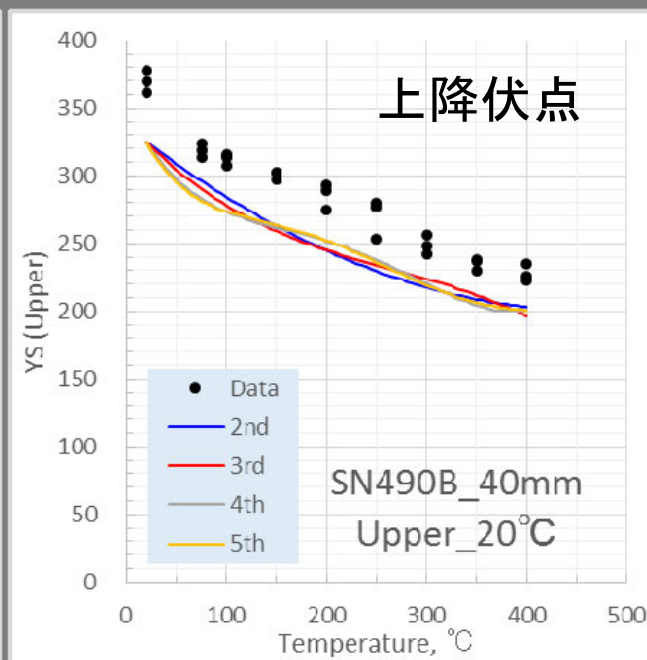
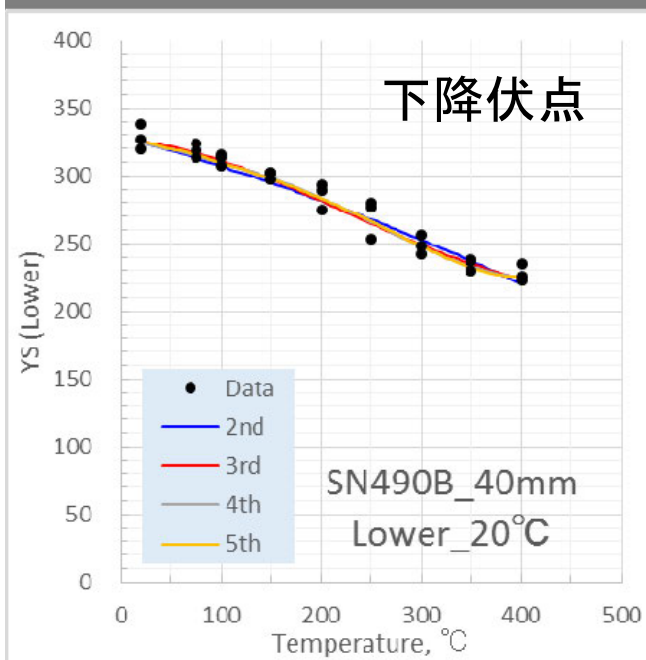
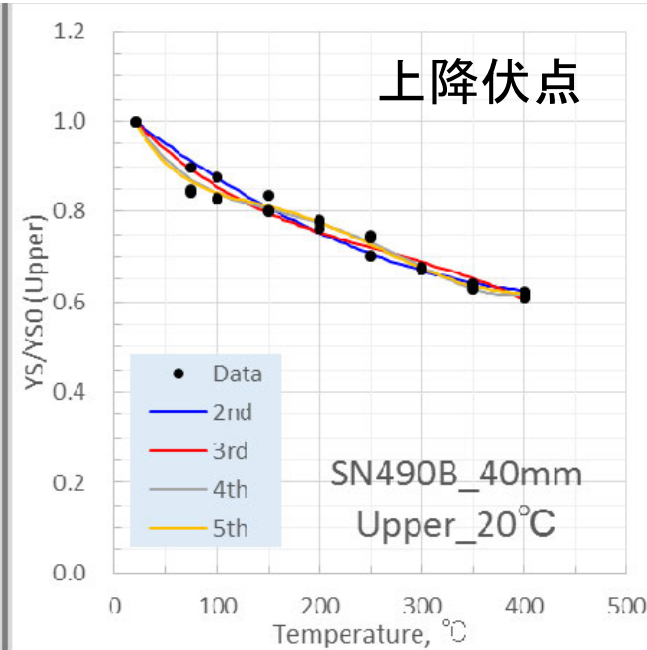
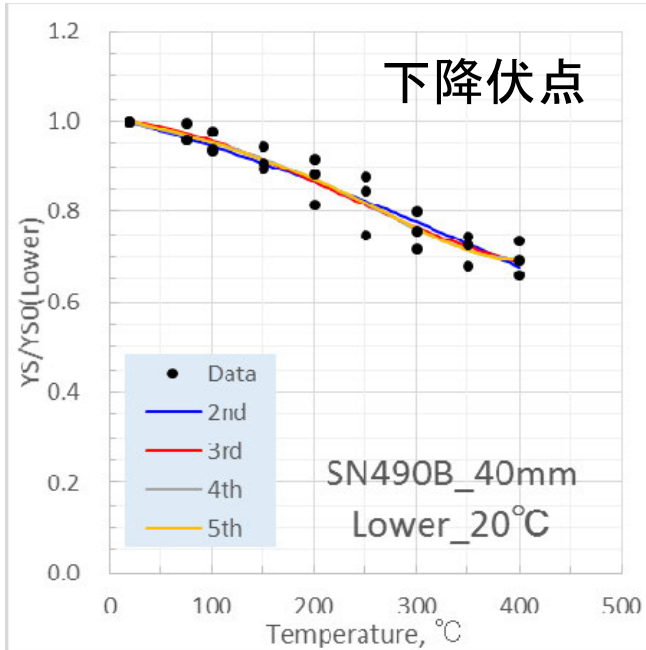
2. 下降伏点／上降伏点_SN400C_100mm



- 下降伏点に比べて, 上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて, 上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

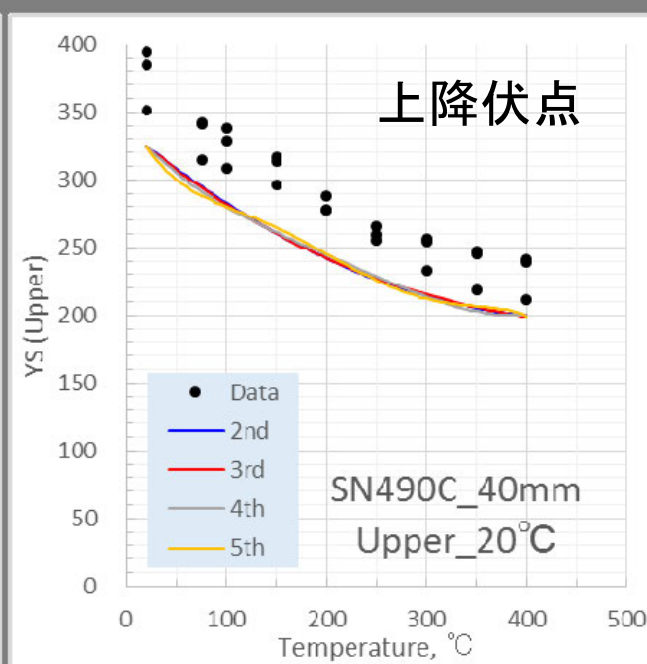
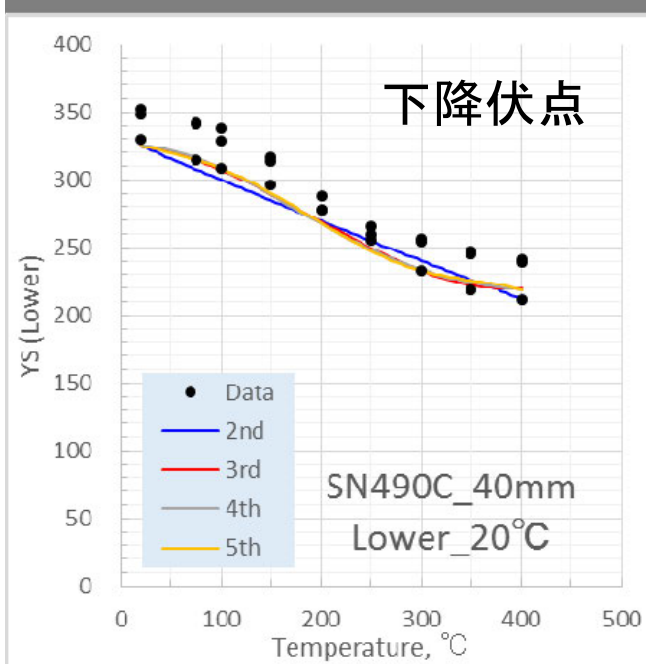
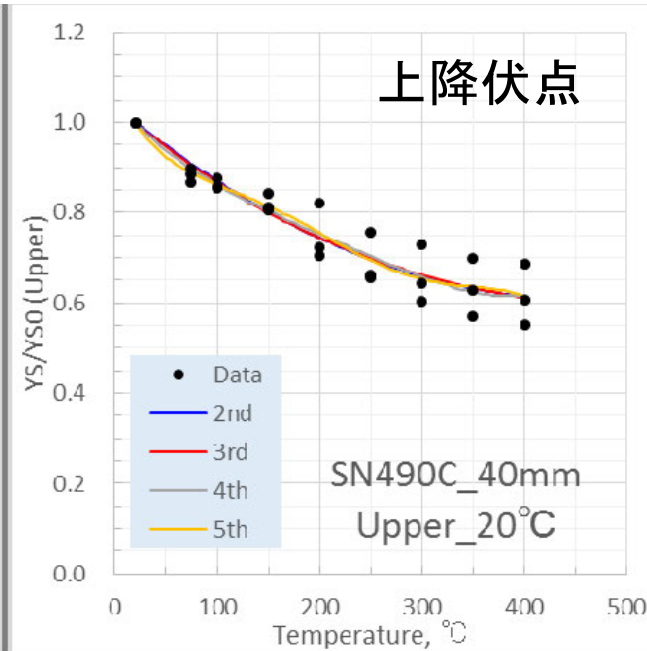
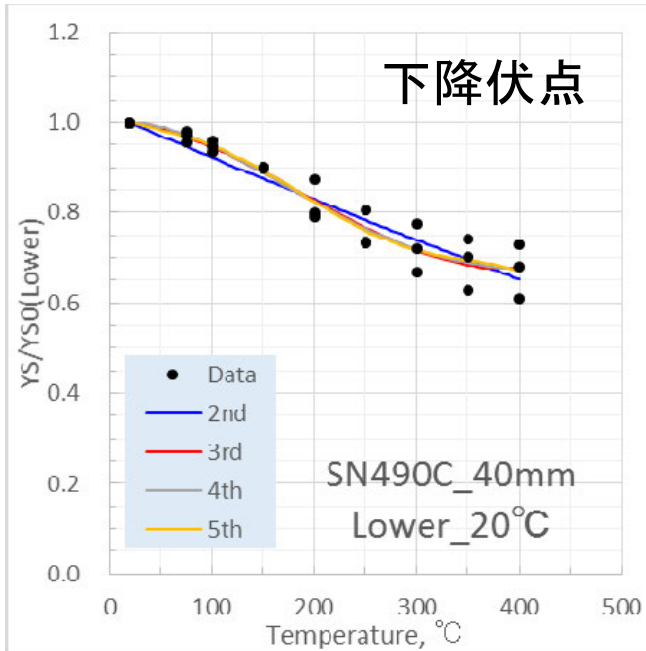


2. 下降伏点／上降伏点_SN490B_40mm



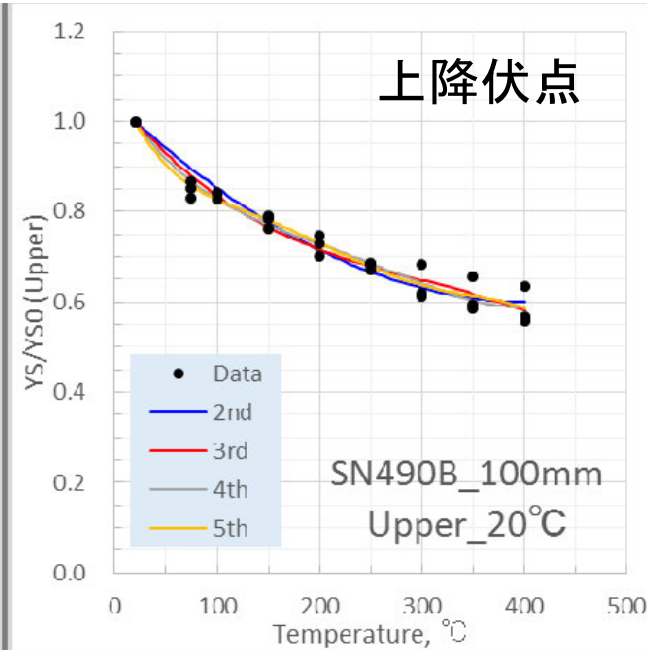
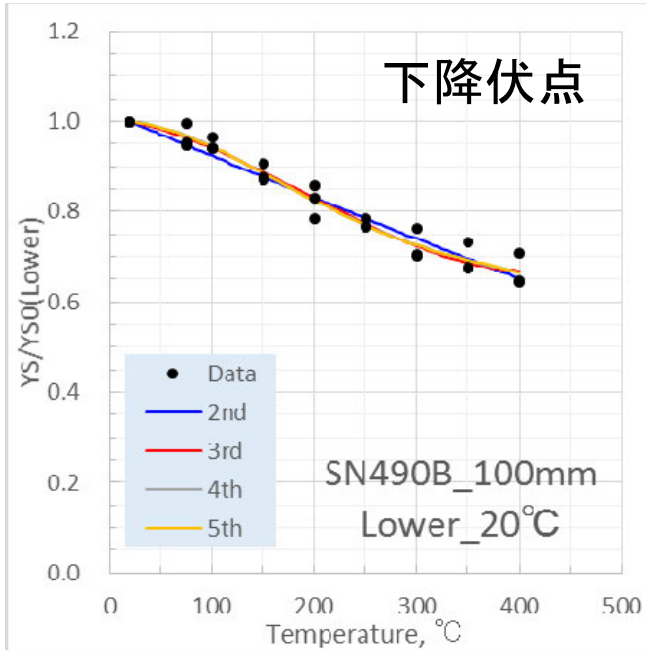
- 下降伏点よりも、上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度は小さい
- 下降伏点基準では、試験結果(データ)の一部が評価結果(トレンドカーブ)を下回るが、上降伏点は保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

2. 下降伏点／上降伏点_SN490C_40mm

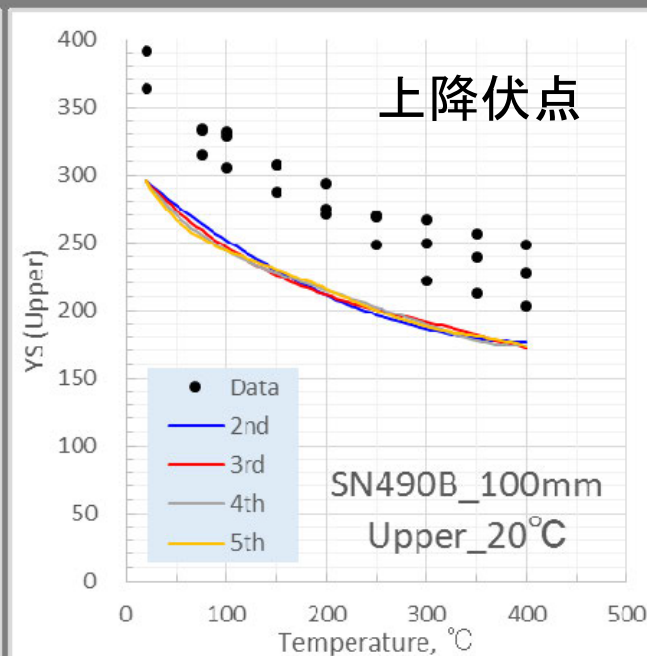
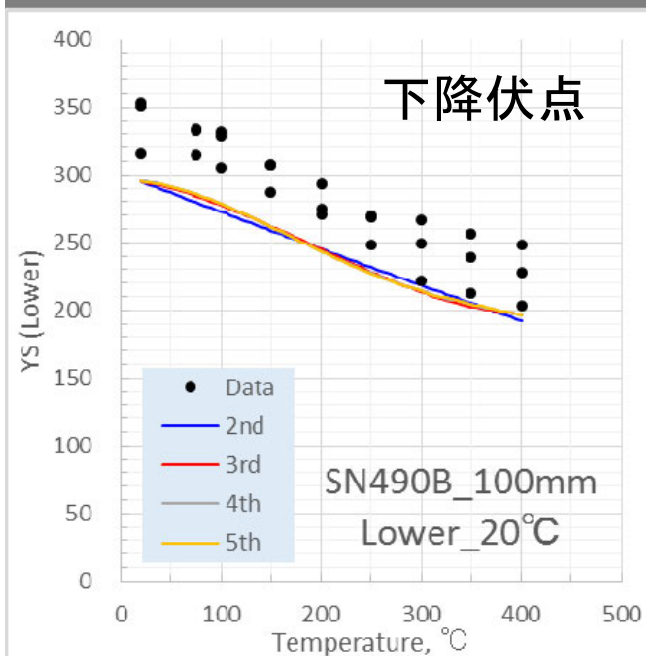


- 下降伏点よりも, 上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度はわずかに大きい
- 下降伏点基準では, 試験結果(データ)の一部が評価結果(トレンドカーブ)を下回るが, 上降伏点は保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

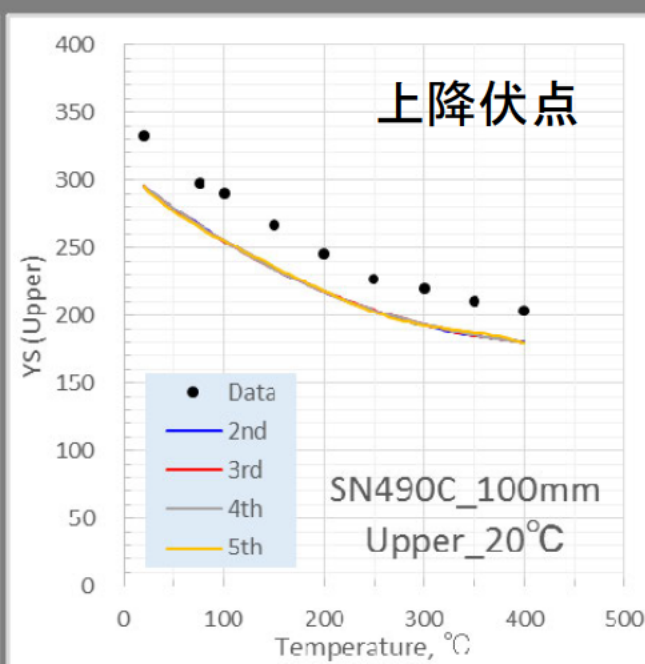
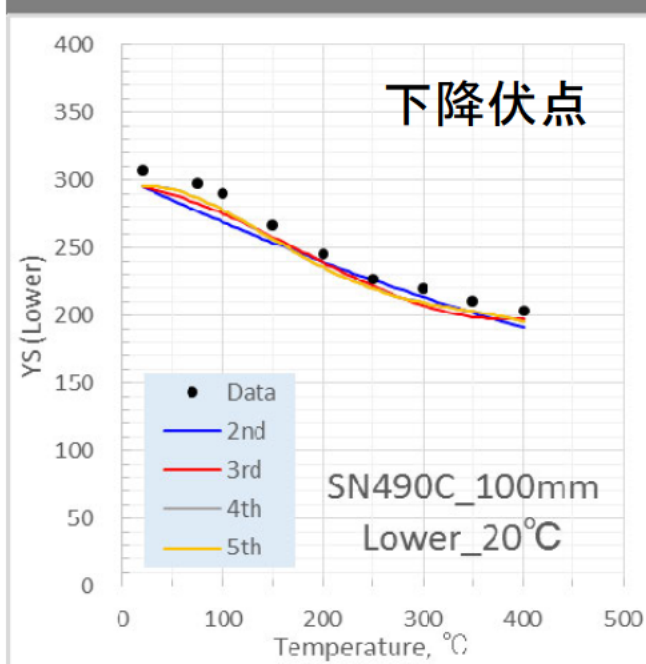
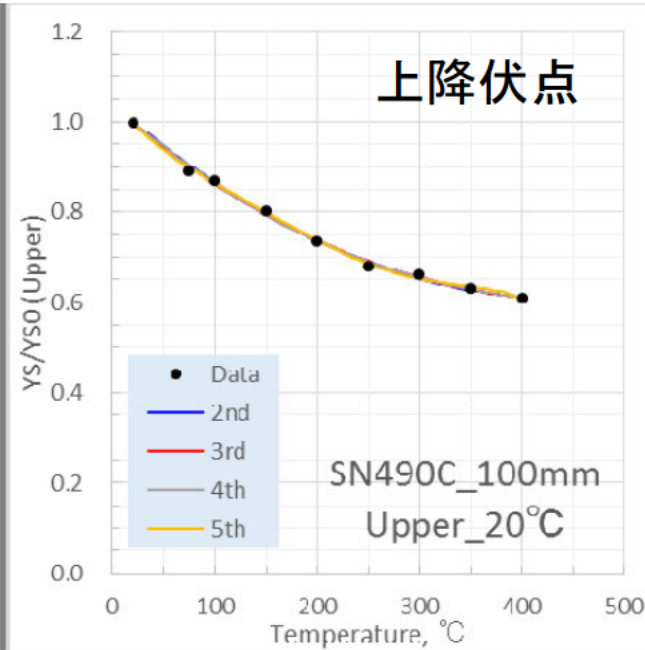
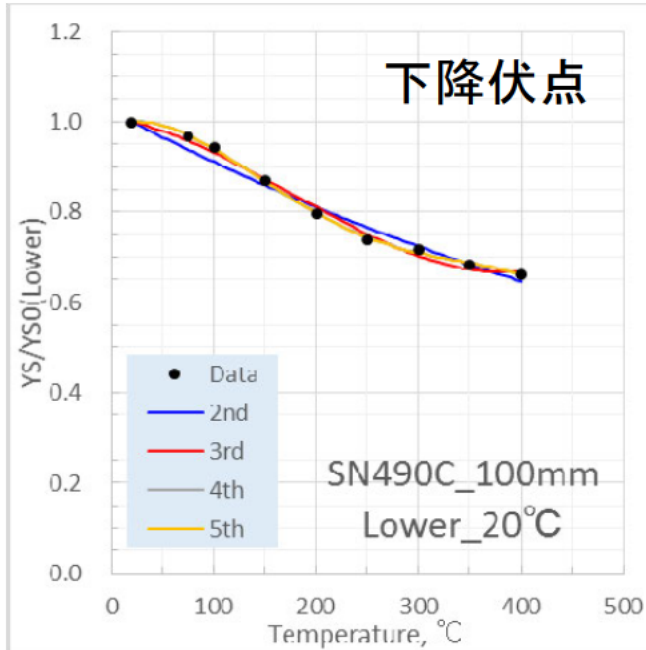
2. 下降伏点／上降伏点_SN490B_100mm



- 下降伏点と上降伏点に対する0.2%耐力比のばらつきの程度に有意差は認められない
- 下降伏点基準に比べて、上降伏点基準の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい



2. 下降伏点／上降伏点_SN490C_100mm

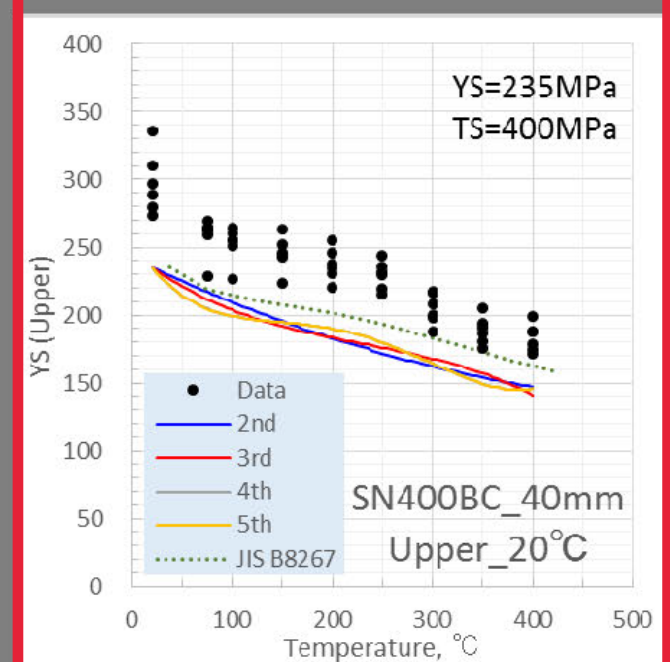
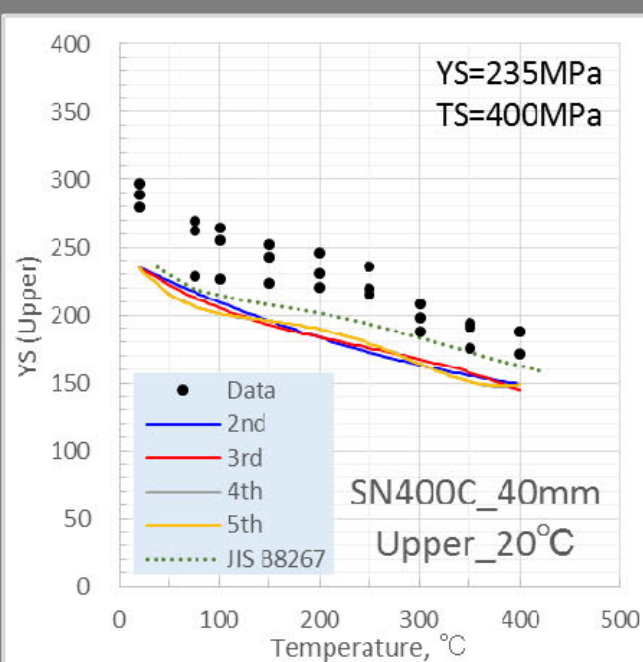
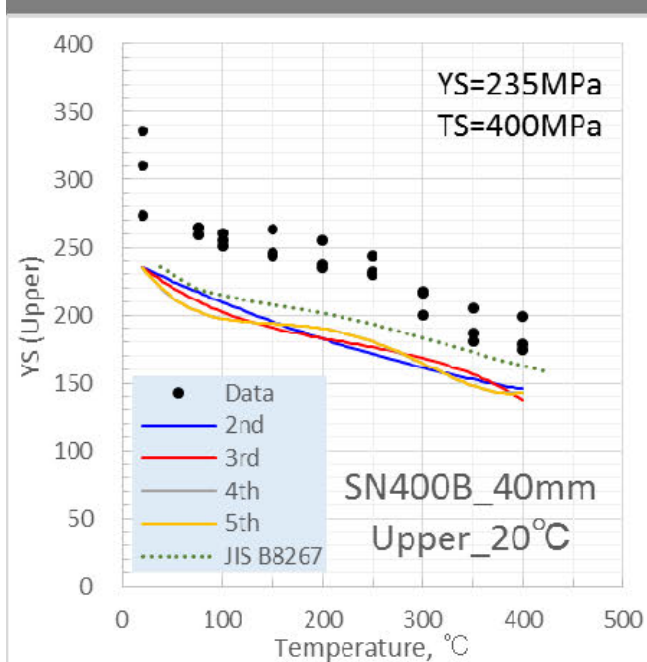
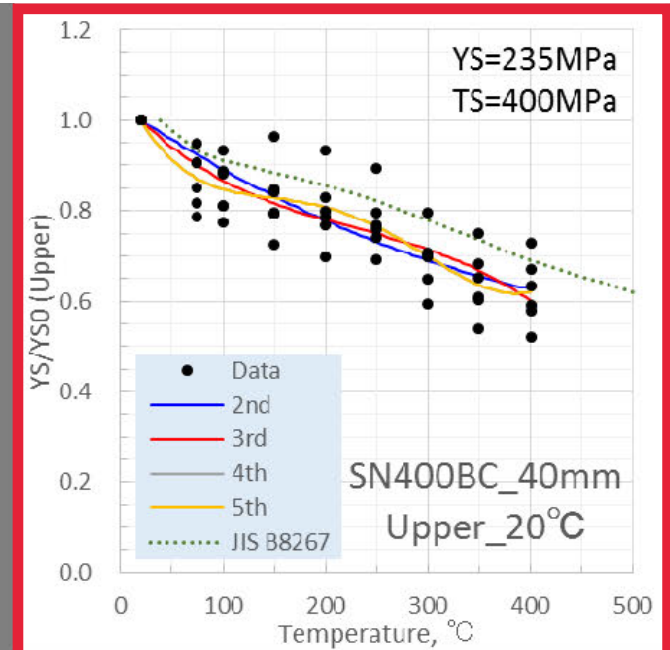
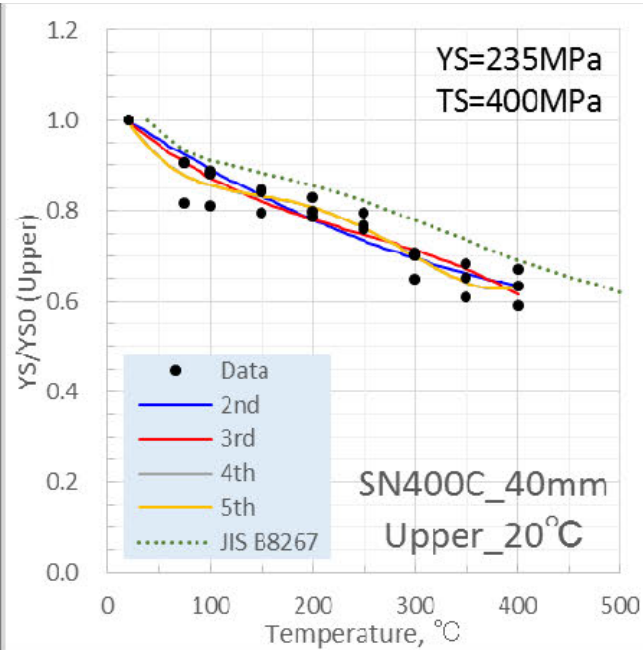
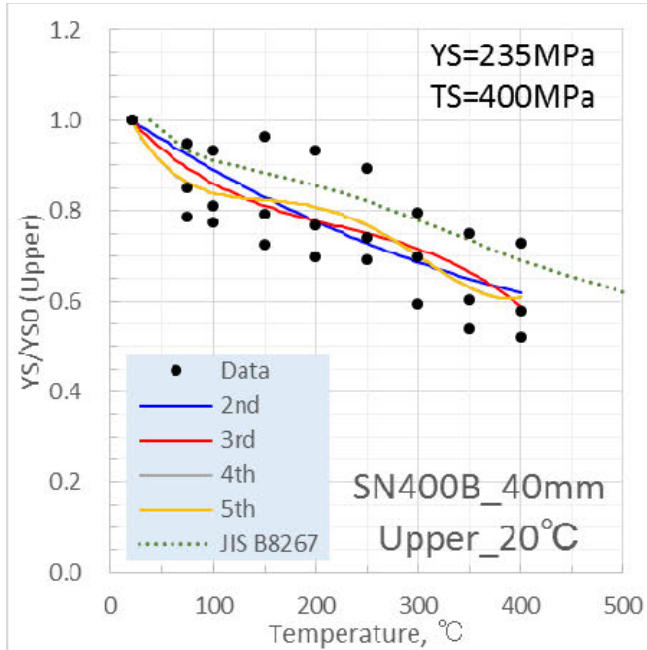


- 下降伏点と上降伏点に対する0.2%耐力比のばらつきの程度に有意差は認められない
- 下降伏点基準に比べて、上降伏点基準の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

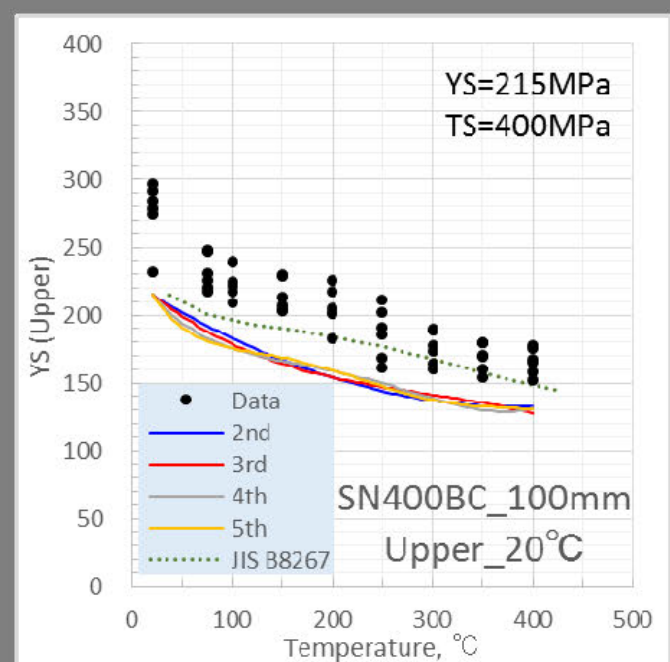
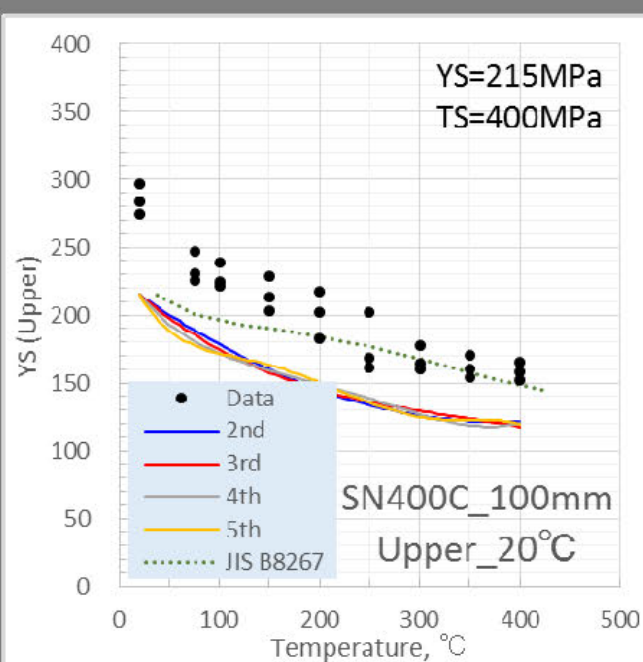
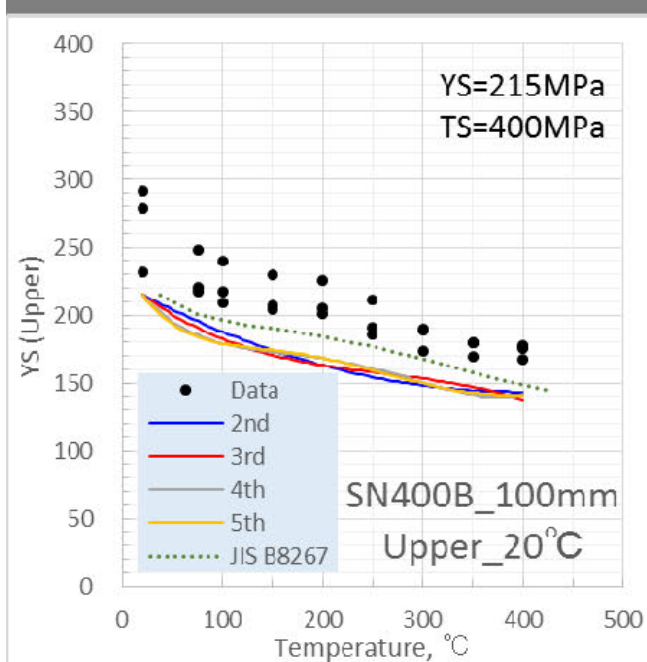
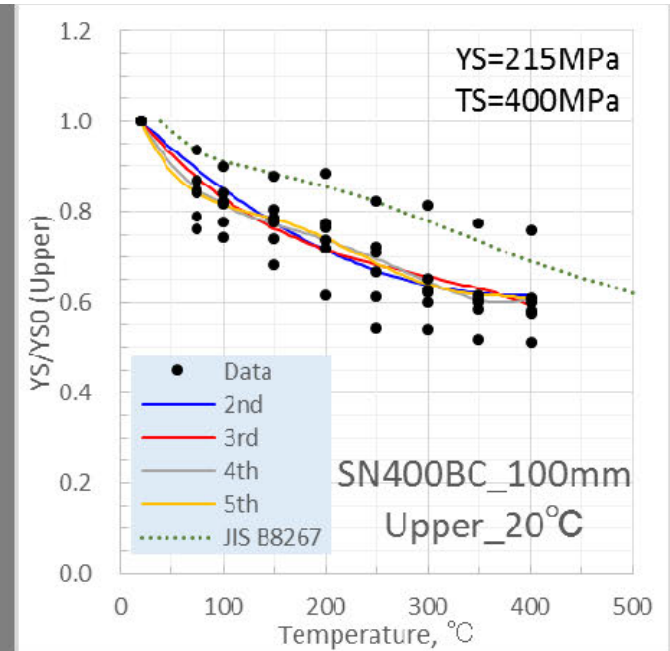
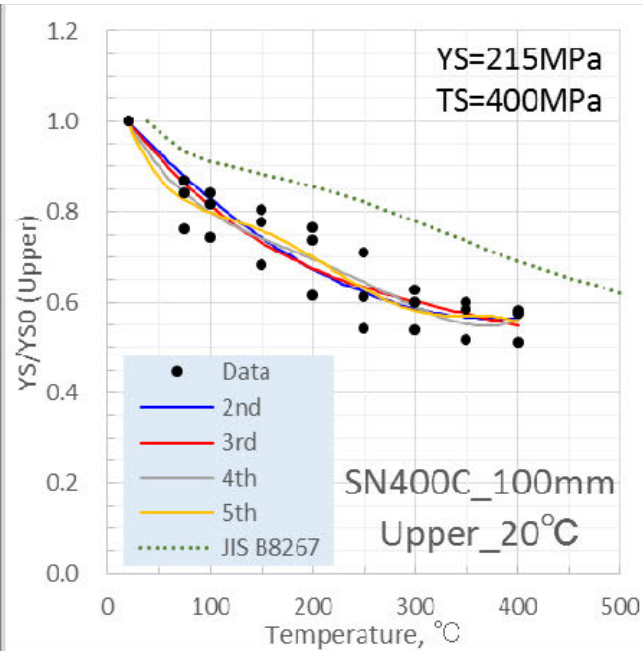
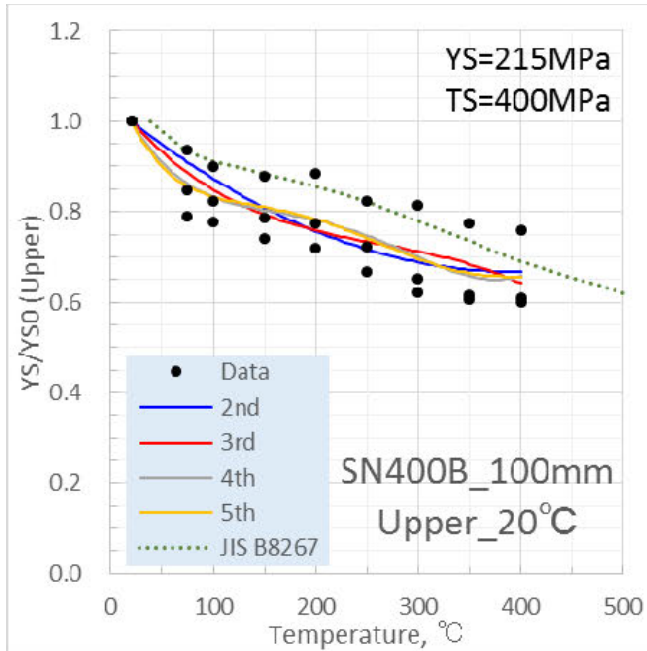
2. 小括：下降伏点／上降伏点

- 室温基準値に上降伏点を用いた場合，下降伏点を用いた場合に比べて0.2%耐力の室温基準値に対する比のばらつきは，必ずしも大きくなるわけではなく，逆にばらつきの程度が小さくなる場合もある
- 室温基準値に下降伏点を用いると，試験結果（データ）の一部が評価結果（ベストフィットトレンドカーブ）を下回る場合があるが，上降伏点を用いると，いずれの鋼種でもベストフィットのトレンドカーブは保守的な評価結果となる
- 以上の結果から，室温の基準値には下降伏点ではなく，上降伏点を用いた方が，保守的なベストフィットトレンドカーブを合理的に評価することができる
- なお，ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

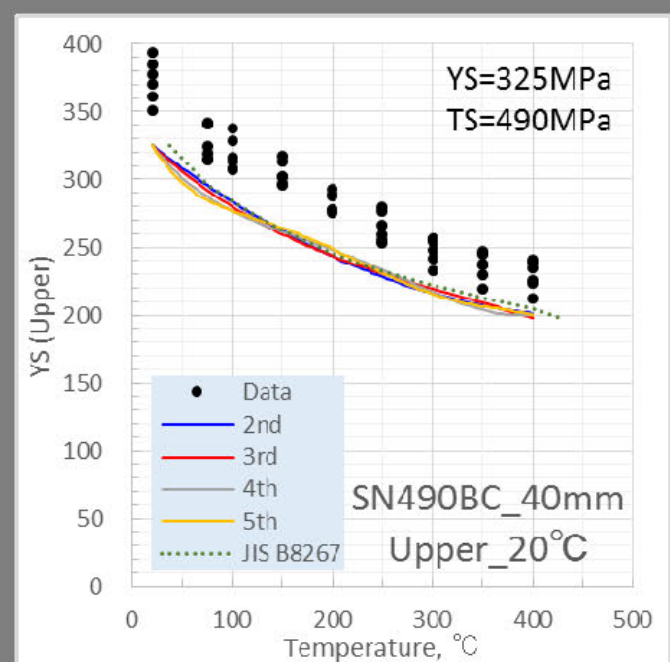
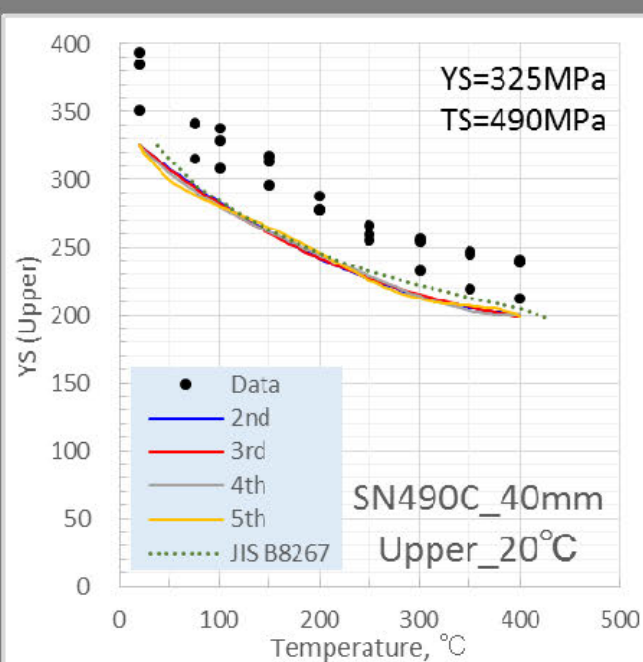
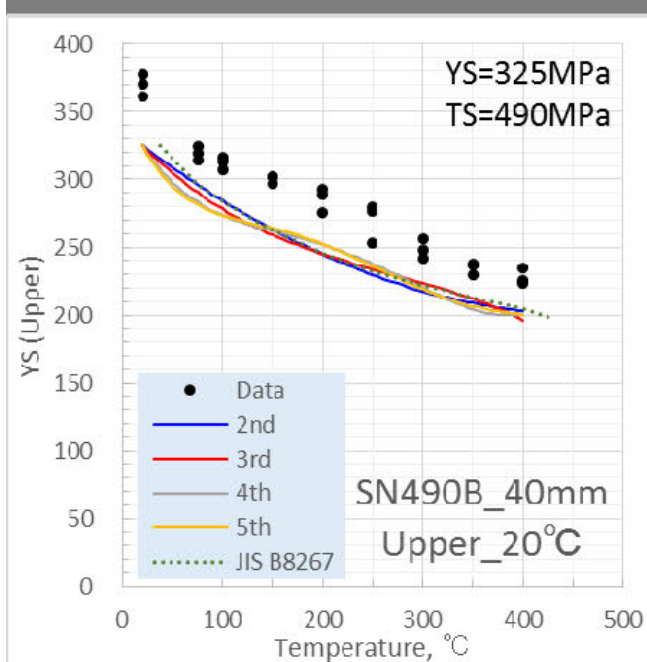
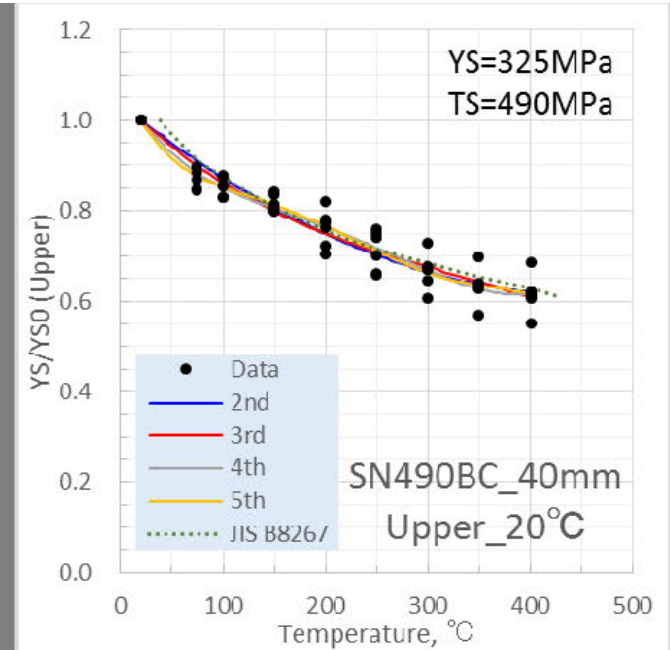
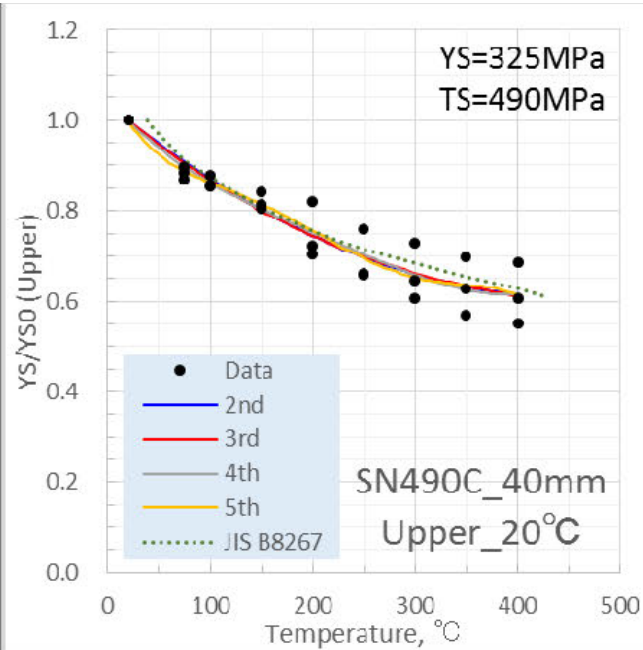
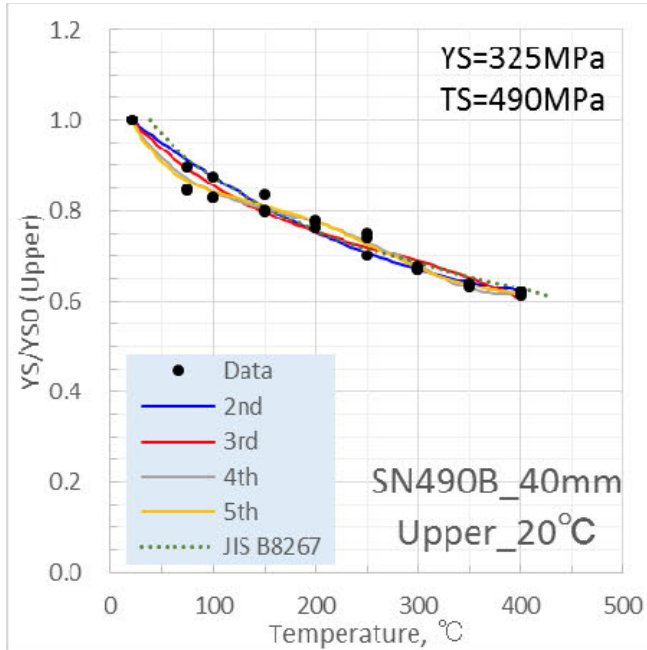
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN400B&C_40mm



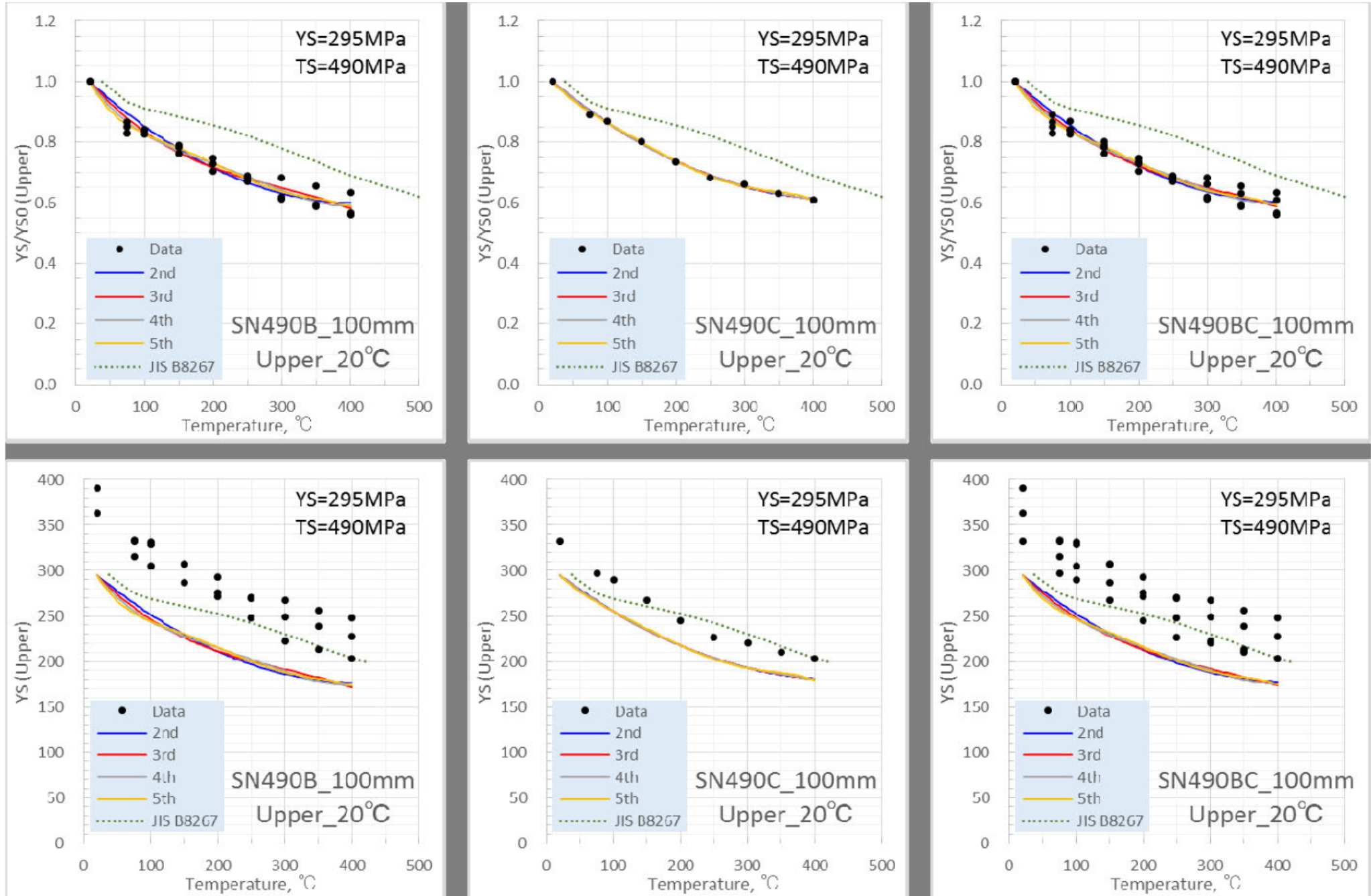
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN400B&C_100mm



2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN490B&C_40mm



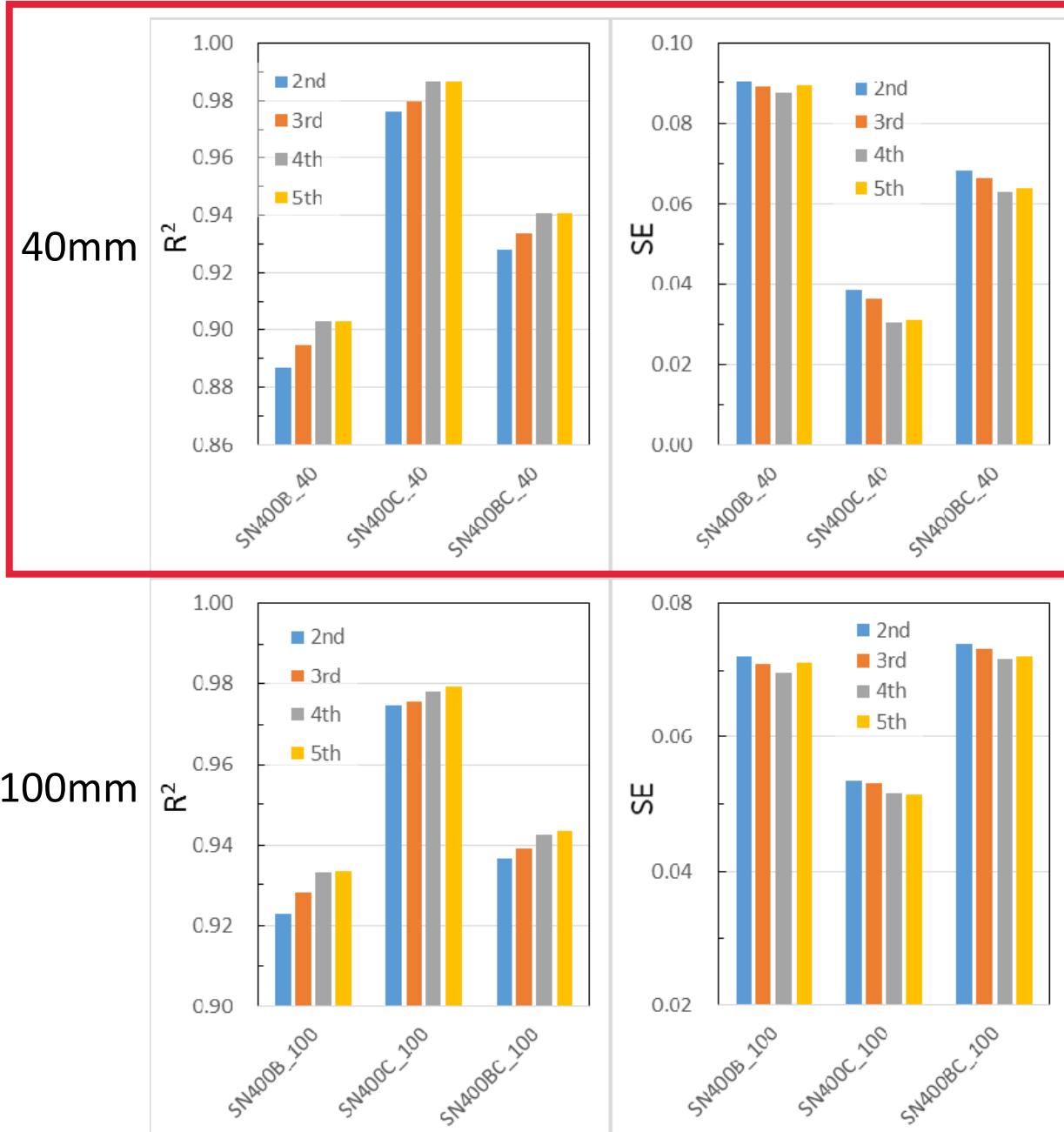
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN490B&C_100mm



2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ

- いずれの鋼種でも、データ解析で求めたベストフィットトレンドカーブの方が、JIS B8267の標準トレンドカーブよりも保守的である
- JIS B8267の標準トレンドカーブを試験結果(データ)が下回る非保守的なケースが認められるが、ベストフィットトレンドカーブではそのような非保守的なケースは認められない
- B材とC材を単独で解析してもその違いは小さく、B材とC材を一括解析した結果と有意差はほとんど認められない
- SN490C, 板厚100mmのTMCP材ではない1ヒートは、SN490B材と同程度の強度特性を示し、B材とC材を個別に解析しても一括解析しても、評価結果は同等である
- 以上の結果から、B材とC材を一括解析して求めたベストフィットトレンドカーブを採用することが妥当と考えられる

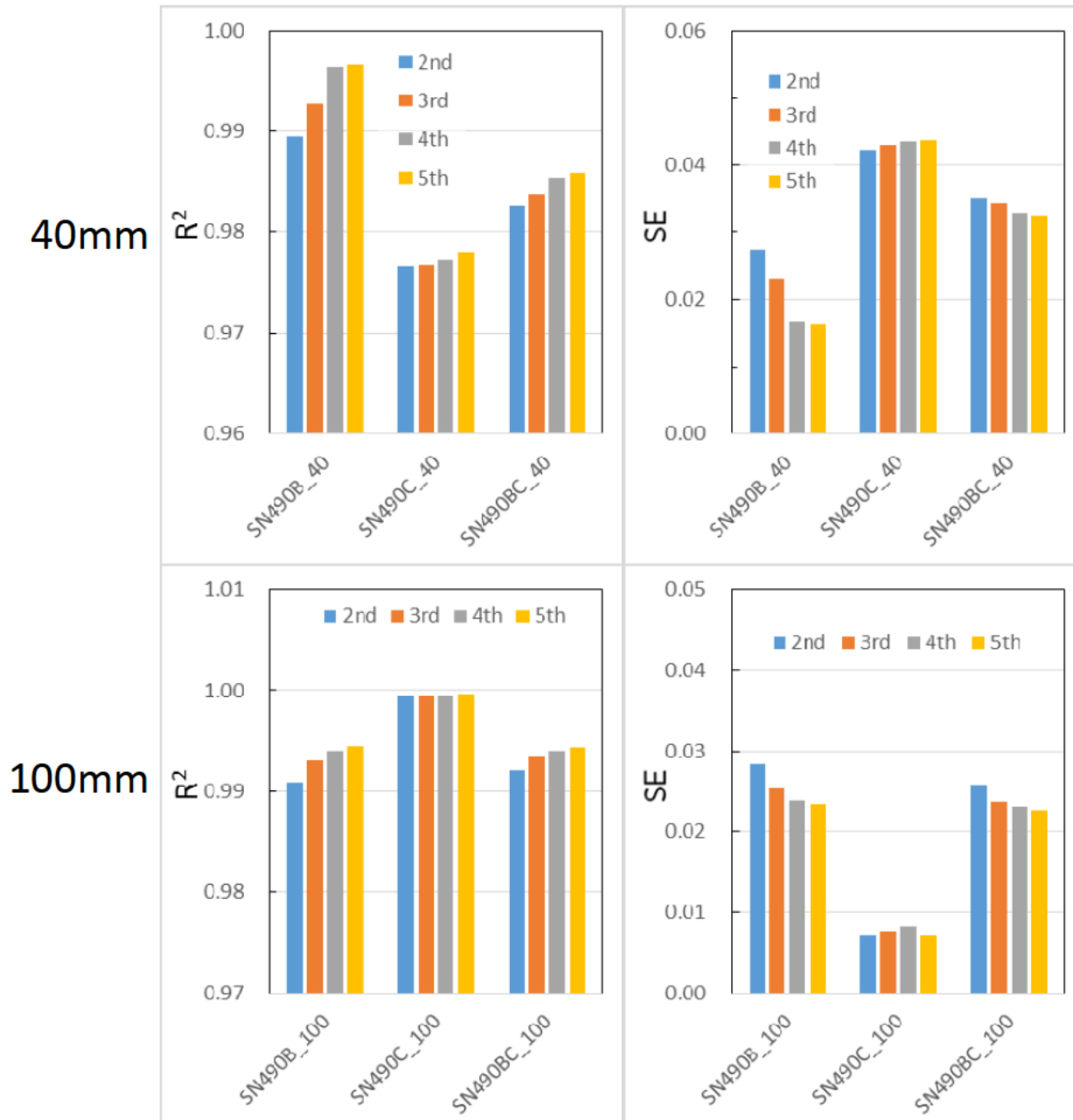
2. 最適回帰次数の選択: SN400B&C, 40&100mm



R²: 大きいほど解析精度は良い
SE: 小さいほど解析精度は良い

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し, 2次より3次, 3次より4次の方が解析精度は向上するが, 4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

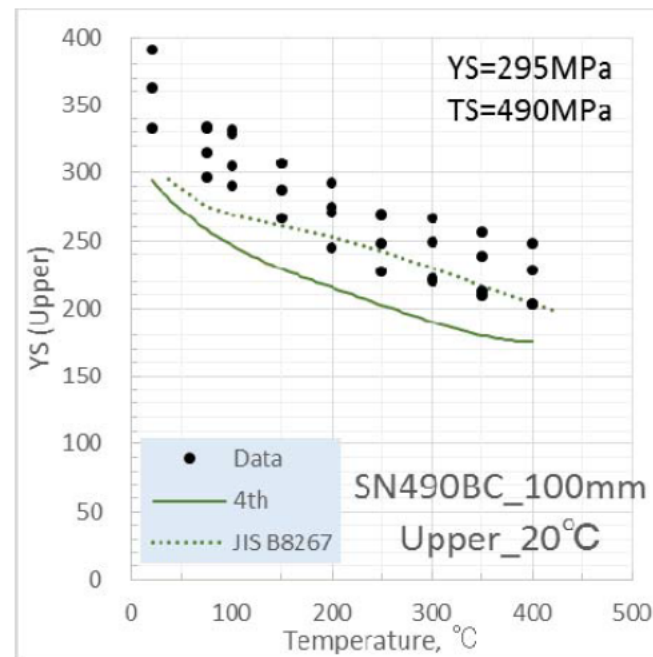
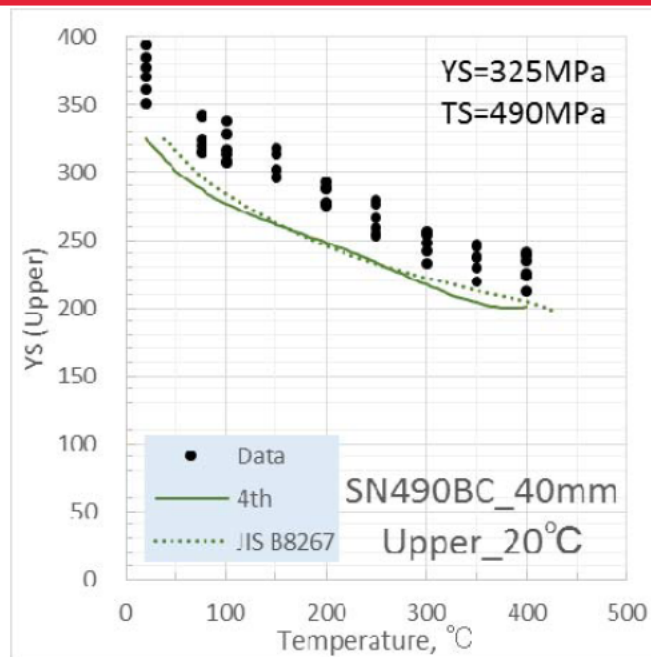
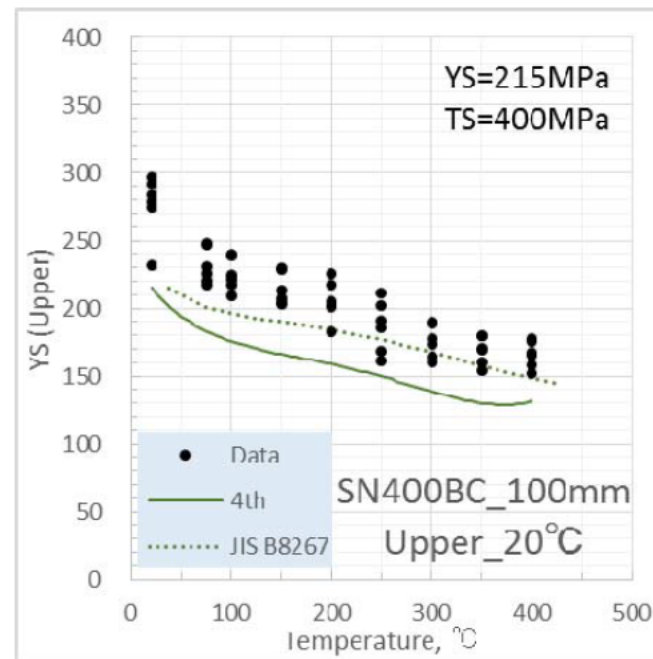
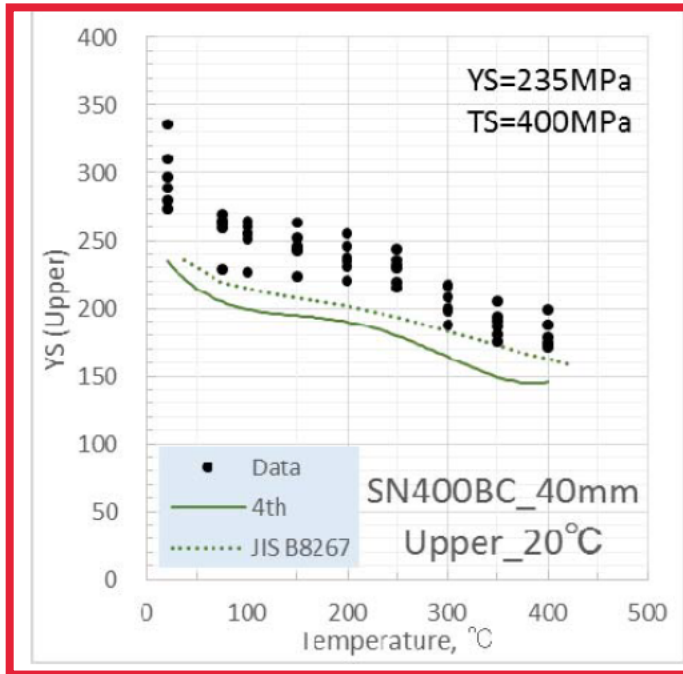
2. 最適回帰次数の選択: SN490B&C, 40&100mm



R²: 大きいほど解析精度は良い
SE: 小さいほど解析精度は良い

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し, 2次より3次, 3次より4次の方が解析精度は向上するが, 4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい
- 以上の結果から, 4次回帰の解析結果を選択するのが妥当と考えられる

2. σ_y 値のトレンドカーブ

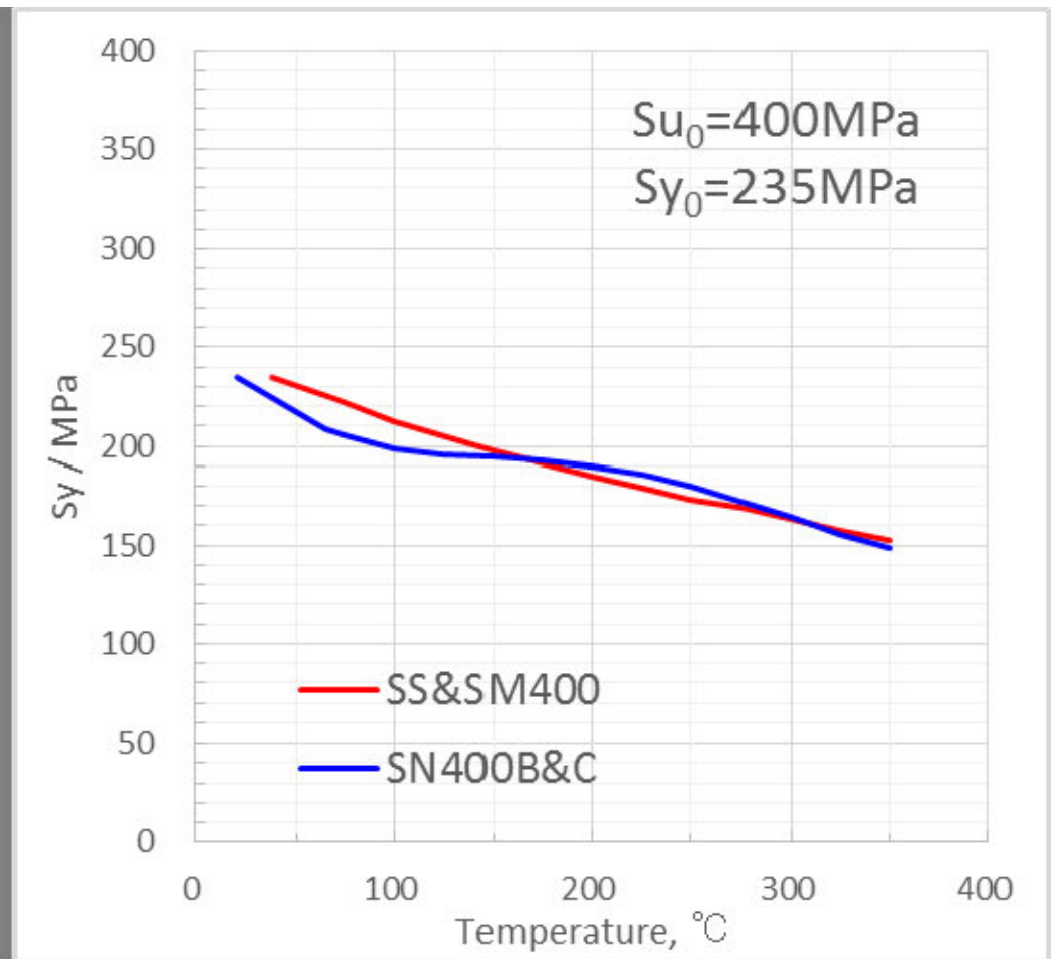
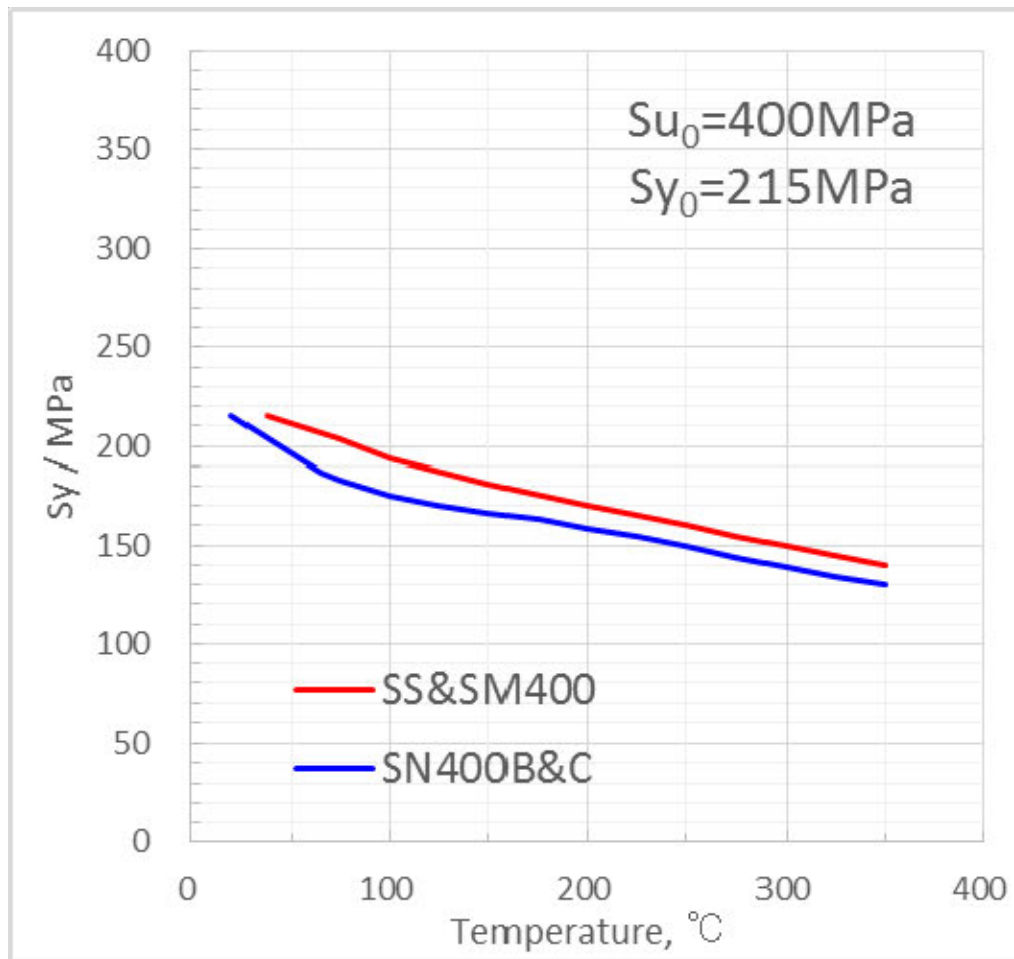


3 考察: SS, SM材とのSyの比較

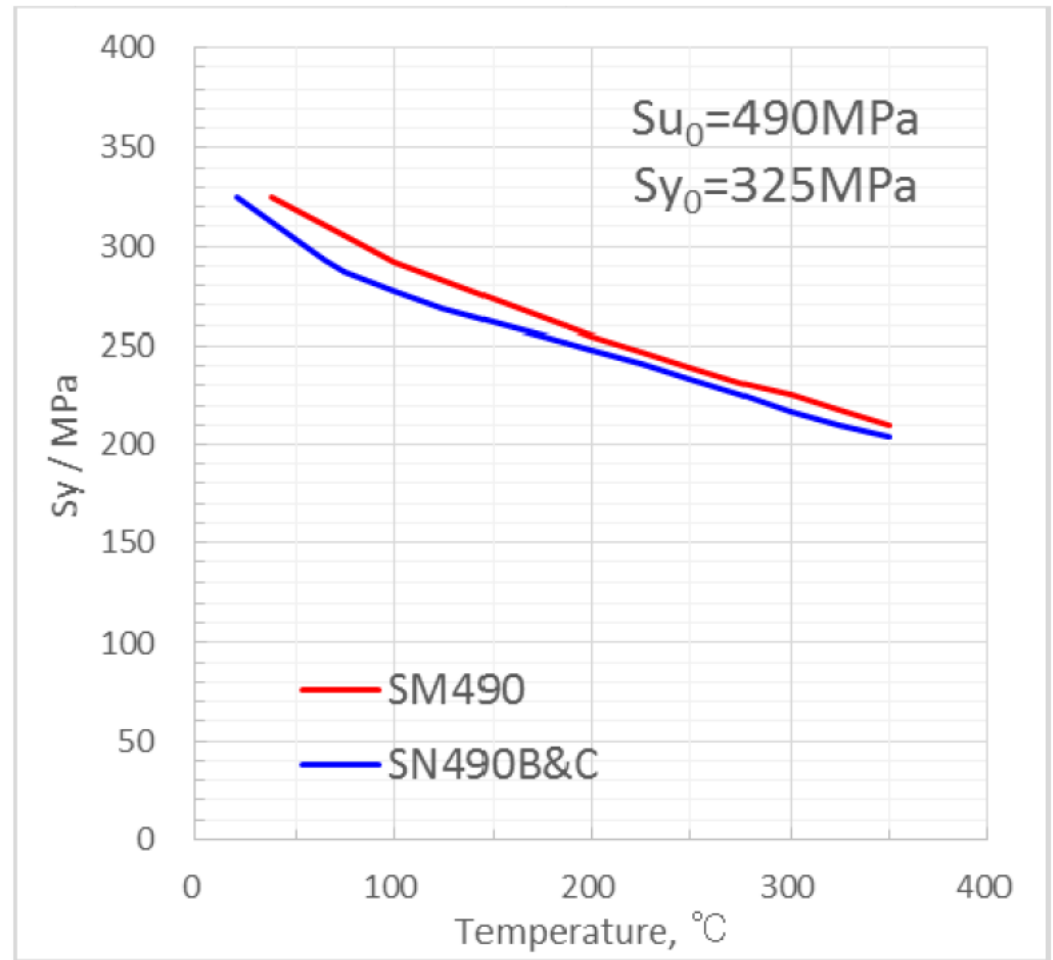
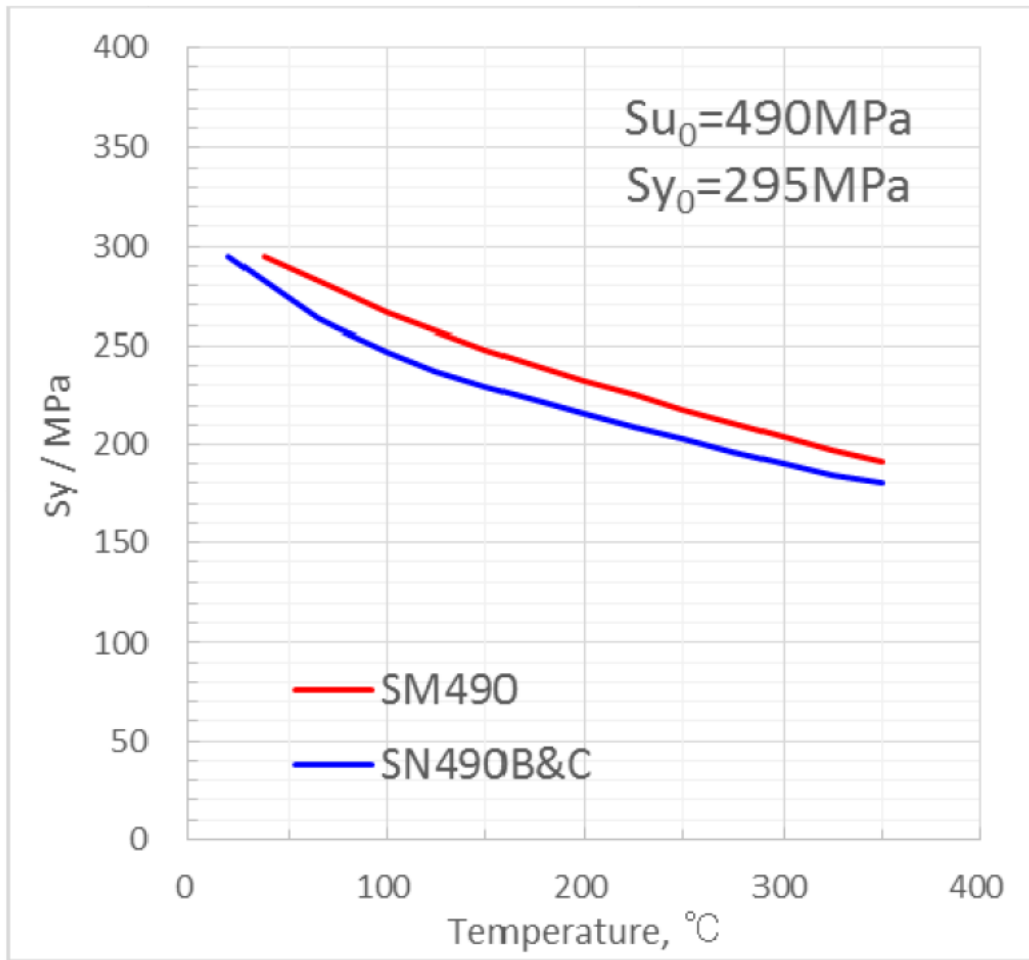
B材とC材一括解析による変更箇所

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SS400	400	215	215	-	203	194	-	181	-	170	165	160	155	150	145	140
SM400A		235	235	-	222	212	-	198	-	185	179	173	169	163	158	153
SM400B		245	245	-	231	221	-	207	-	193	187	181	176	170	165	159
SM400C																
SM490A	490	295	295	-	278	266	-	248	-	232	225	218	211	204	197	191
SM490B		315	315	-	296	283	-	265	-	247	239	232	225	218	209	204
SM490C		325	325	-	305	292	-	273	-	255	247	239	231	225	218	210
SN400B	400	215	215	187	183	175	170	166	163	159	155	150	144	139	134	130
SN400C		235	235	208	205	199	196	195	193	190	186	180	172	164	156	149
SN490B	490	295	295	264	258	247	237	229	222	215	209	203	196	190	185	180
SN490C		325	325	292	287	277	269	262	255	248	241	233	225	217	210	204

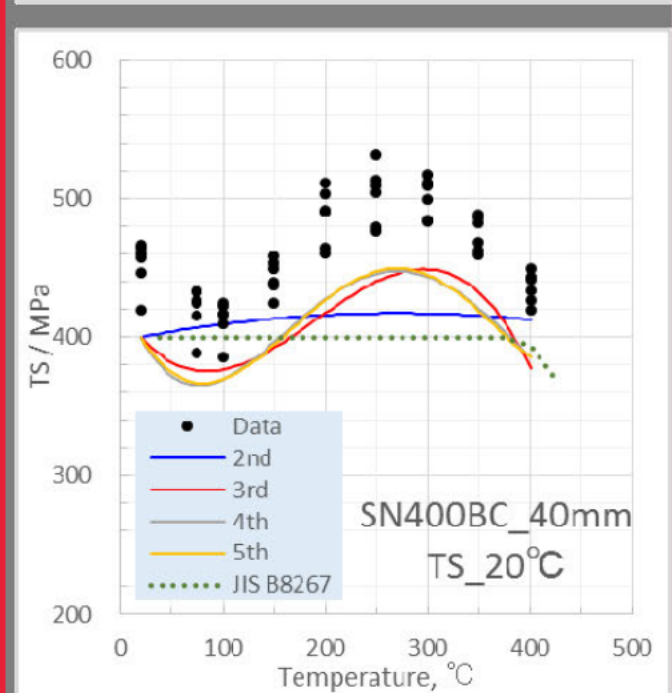
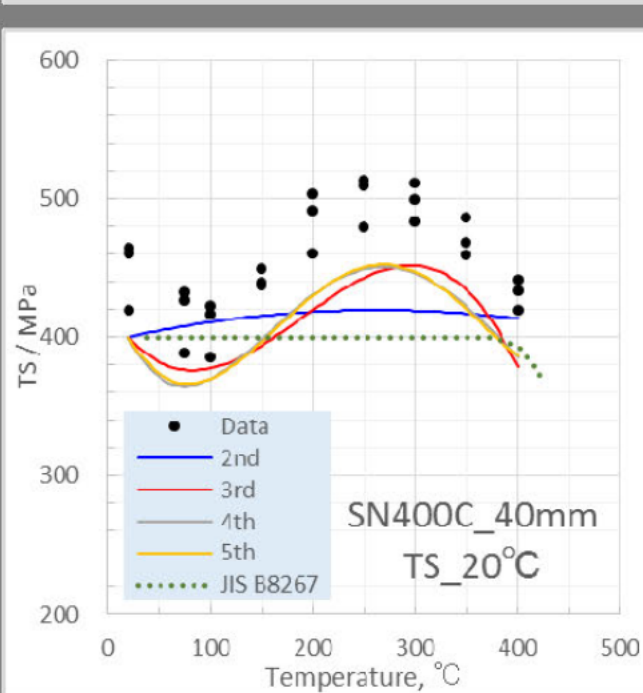
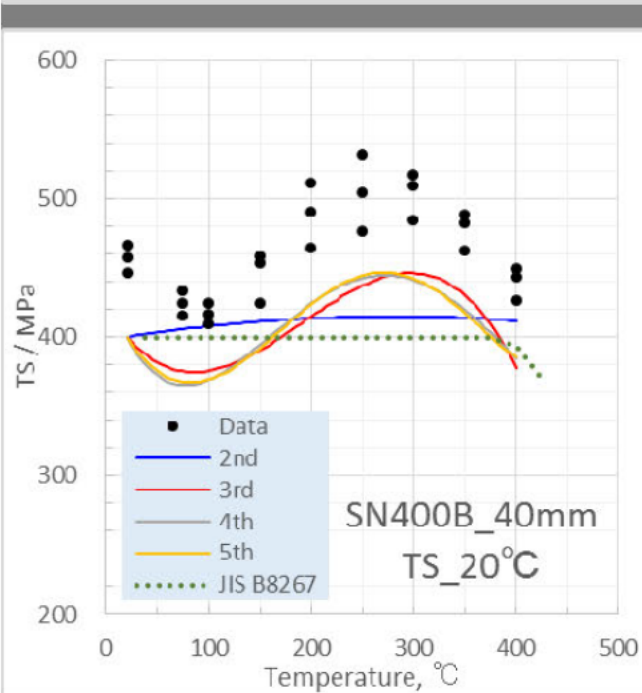
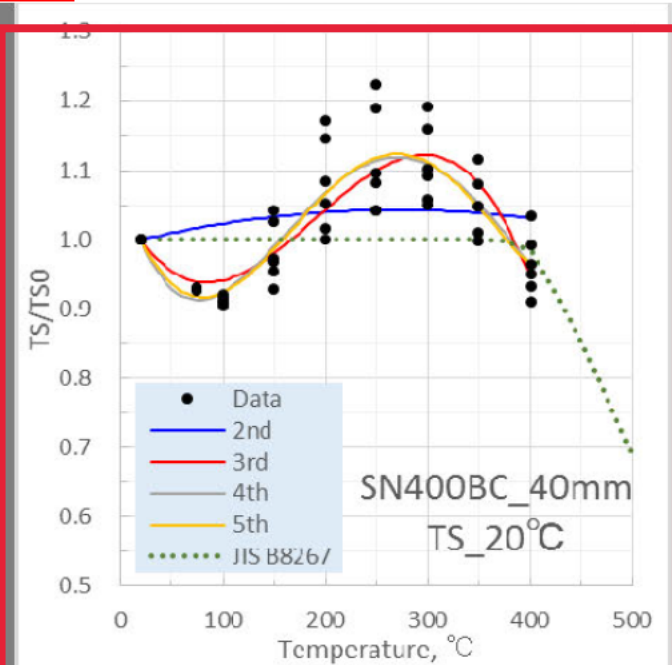
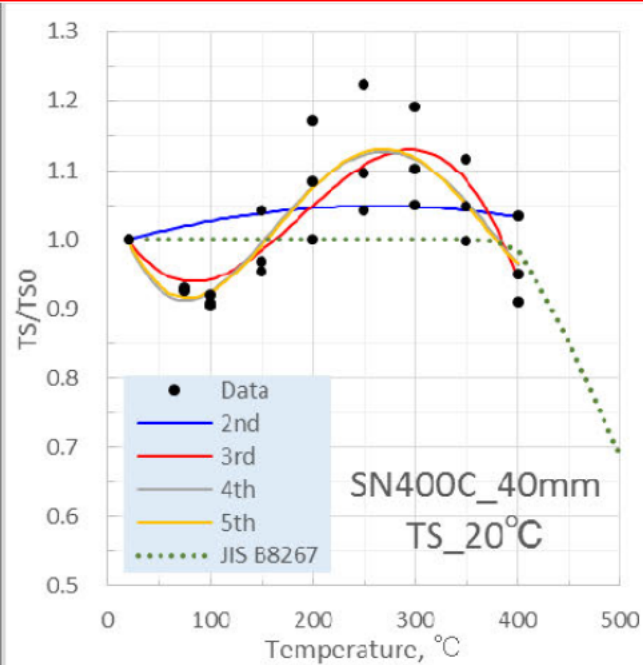
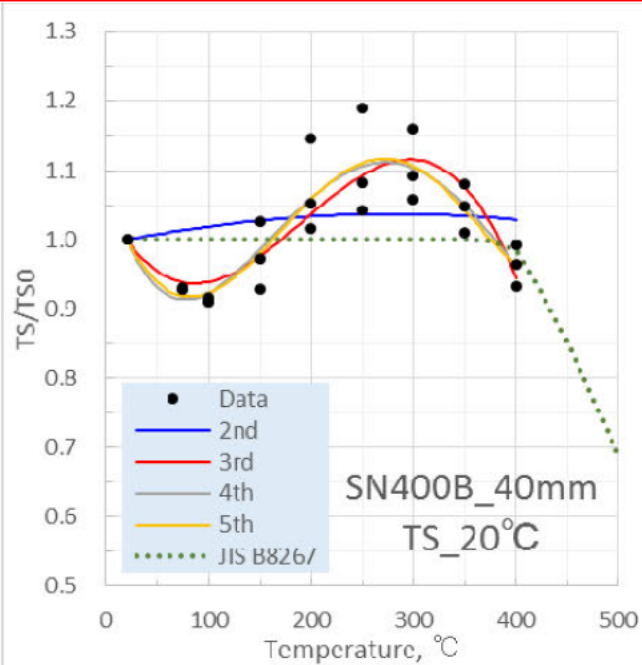
3. 考察: SS, SM材との S_y の比較



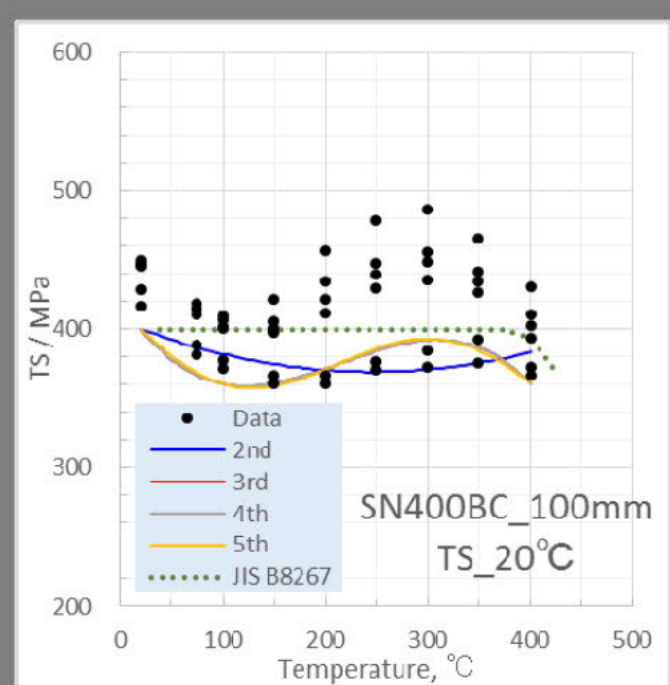
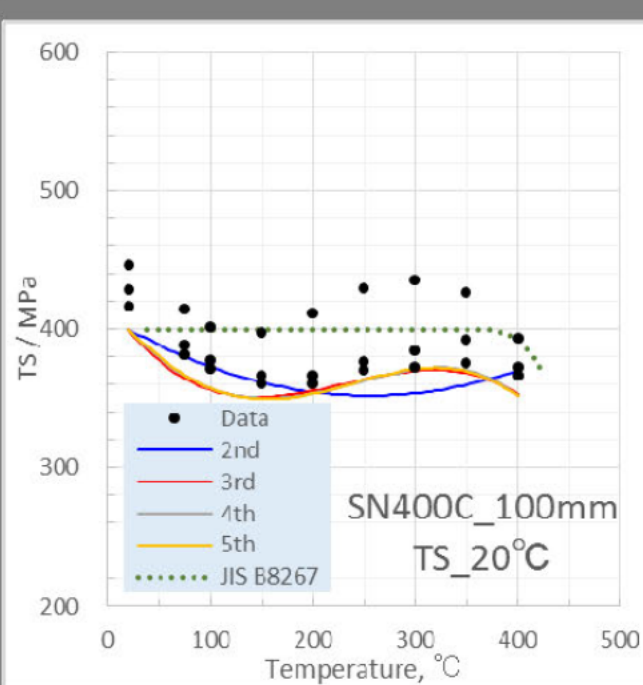
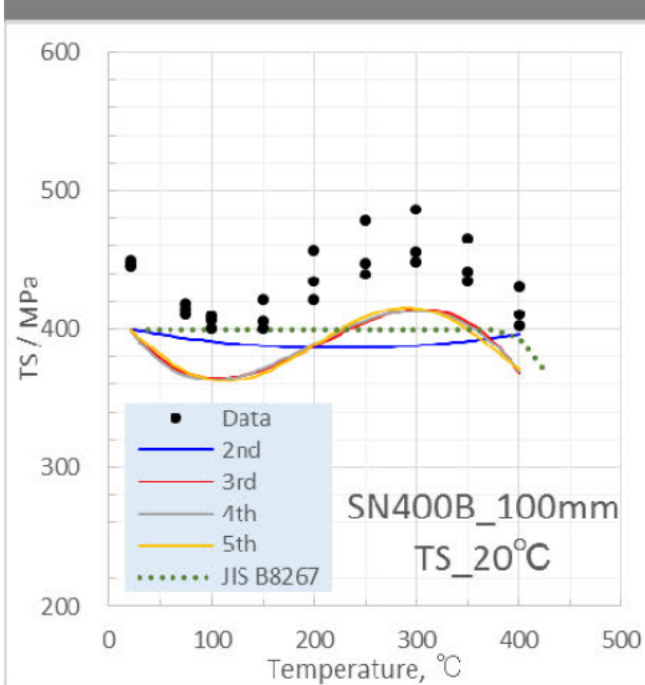
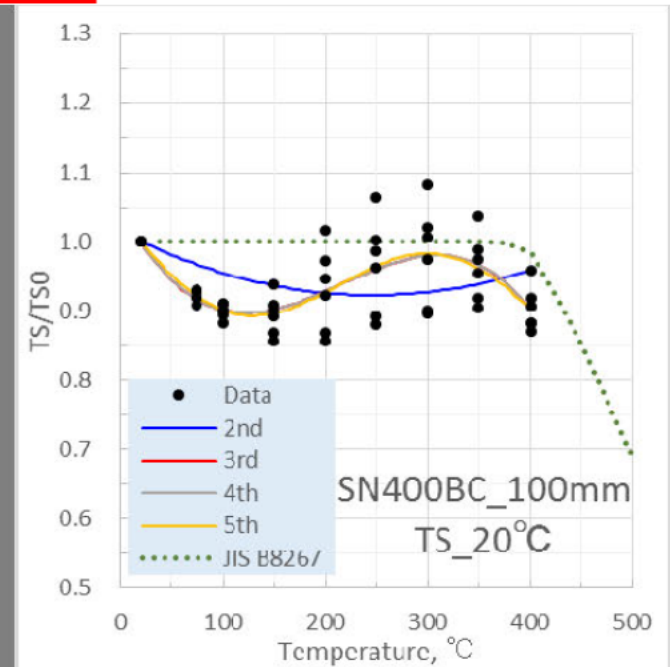
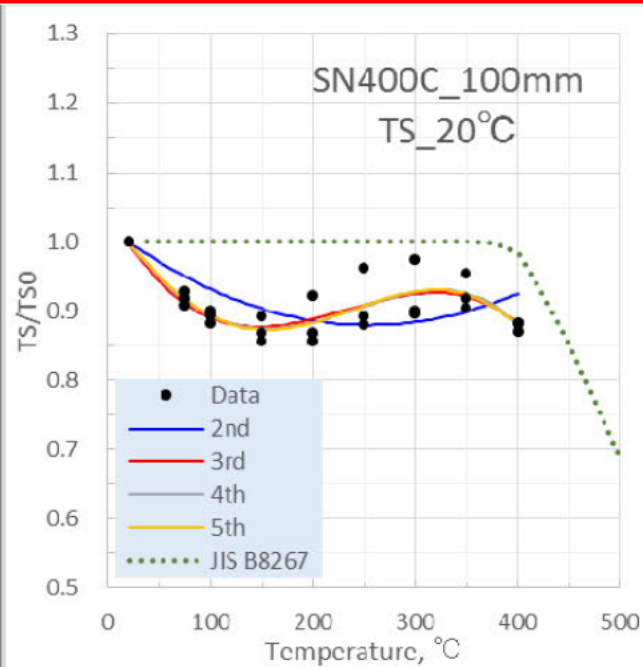
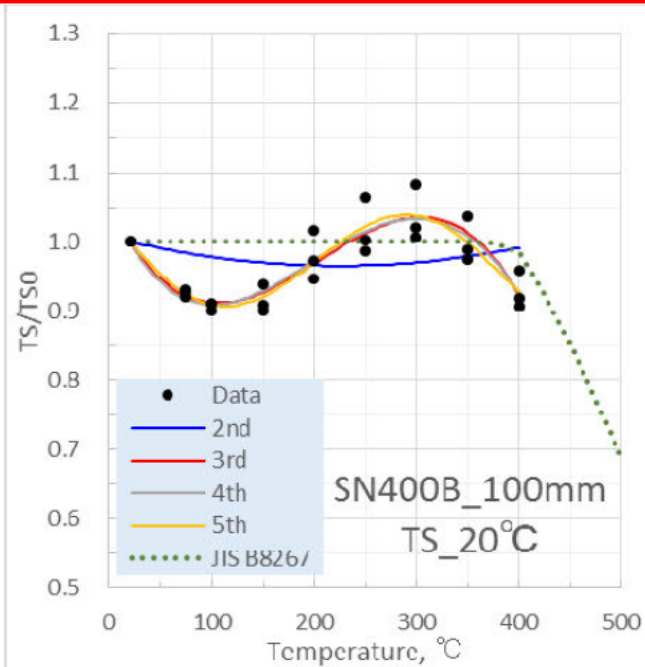
3 考察 SS, SM材との S_y の比較



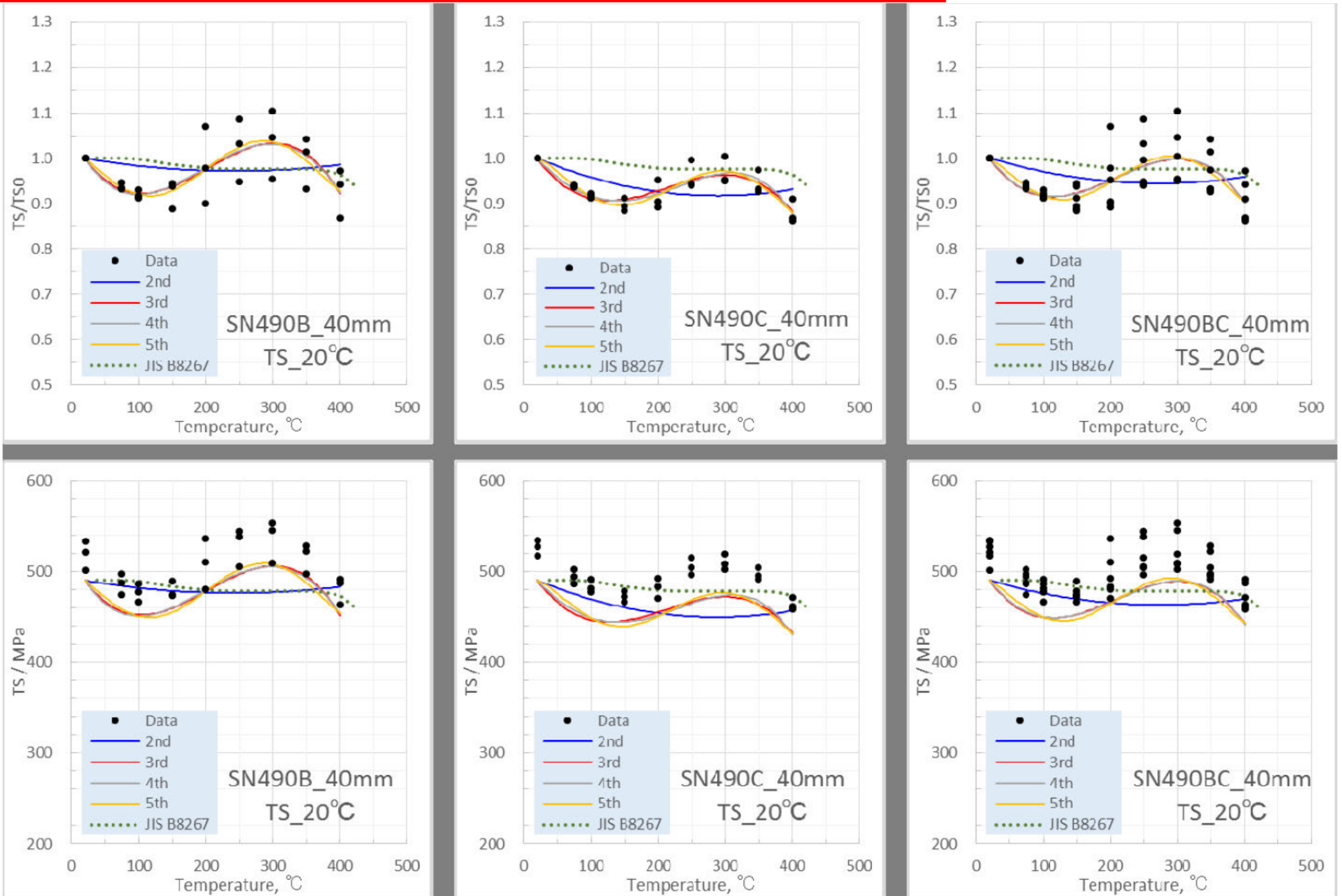
2. Su値のトレンドカーブ: SN400B&C_40mm



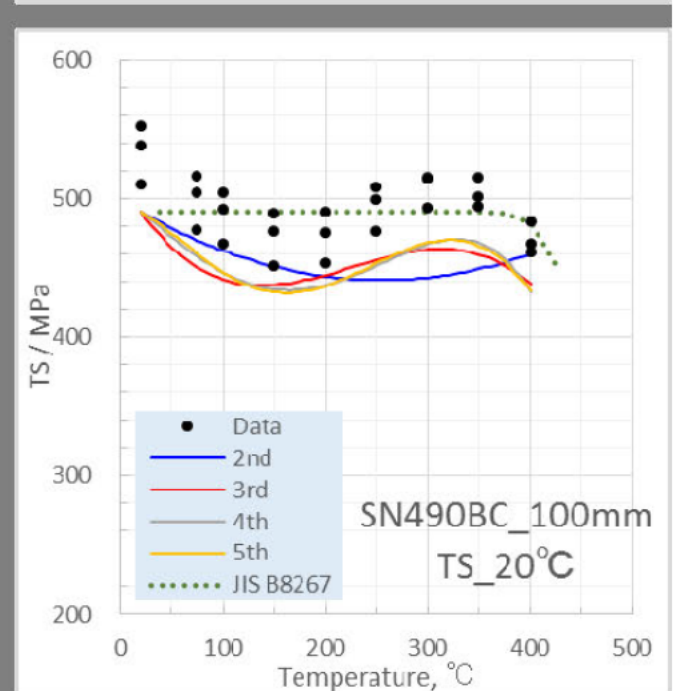
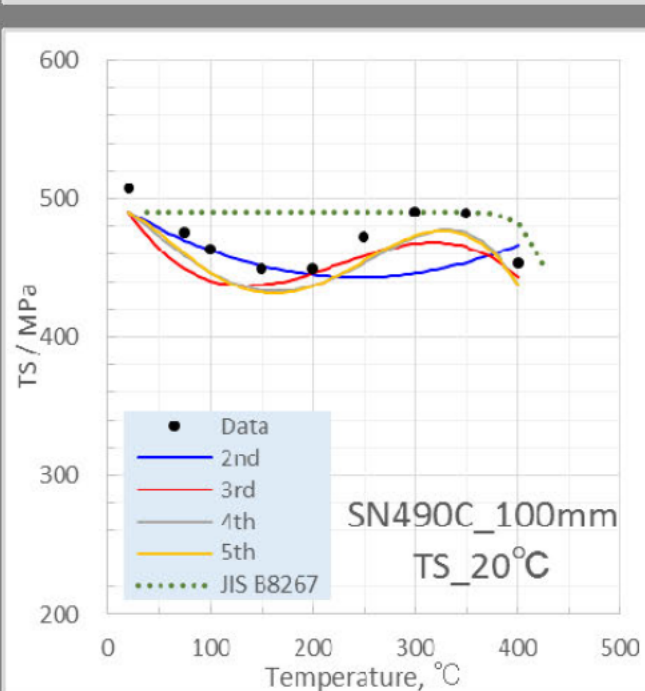
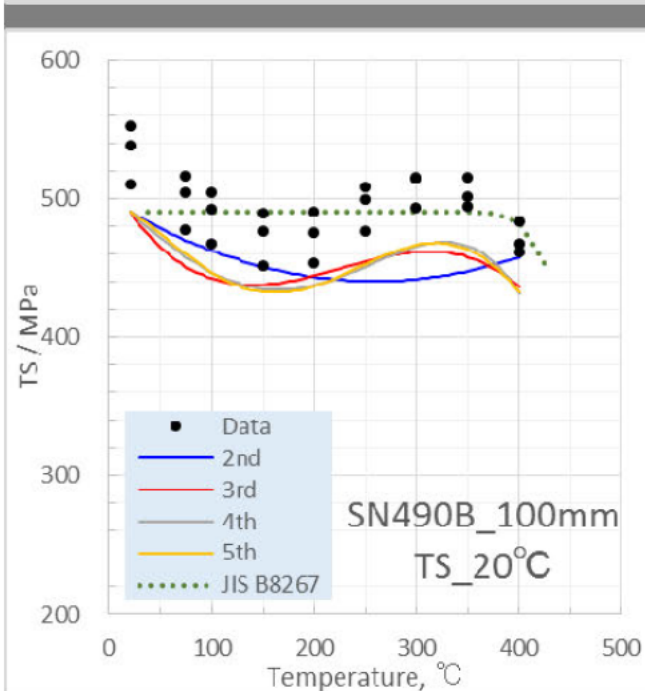
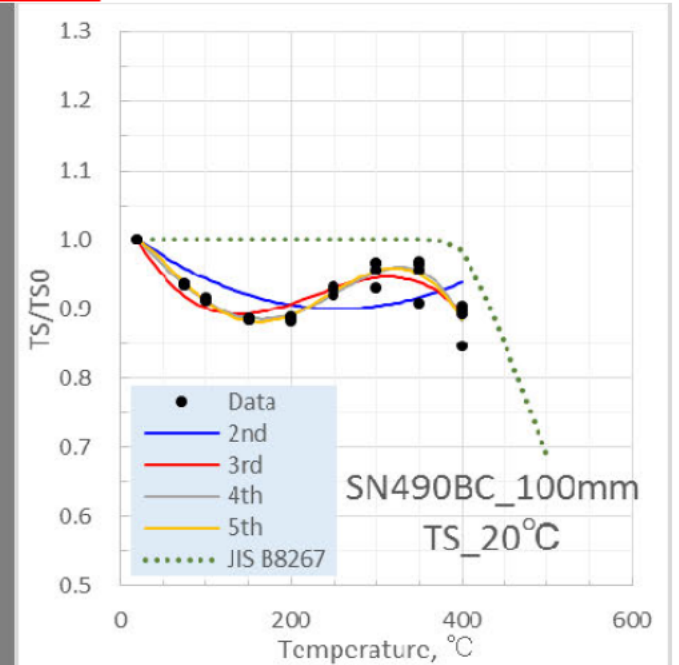
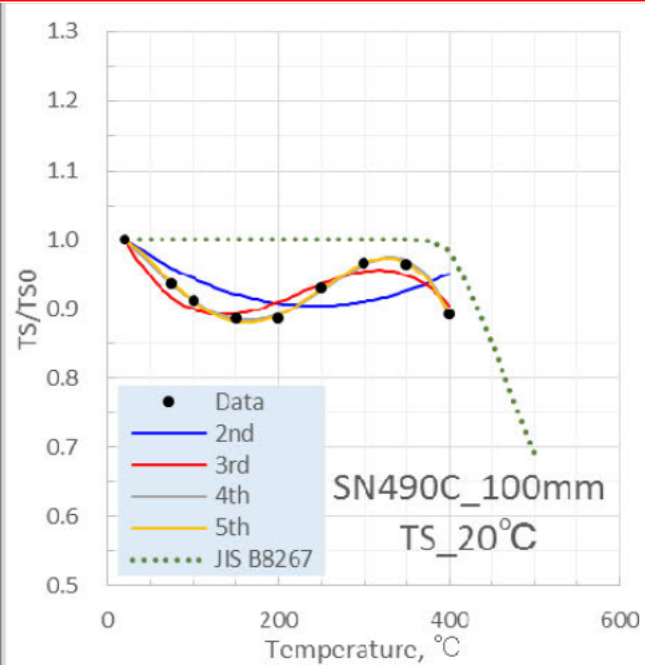
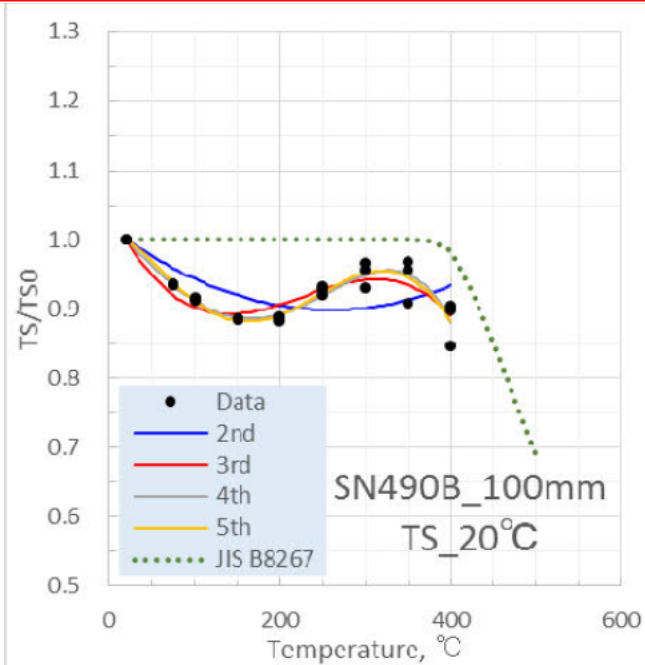
2 Su値のトレンドカーブ: SN400B&C_100mm



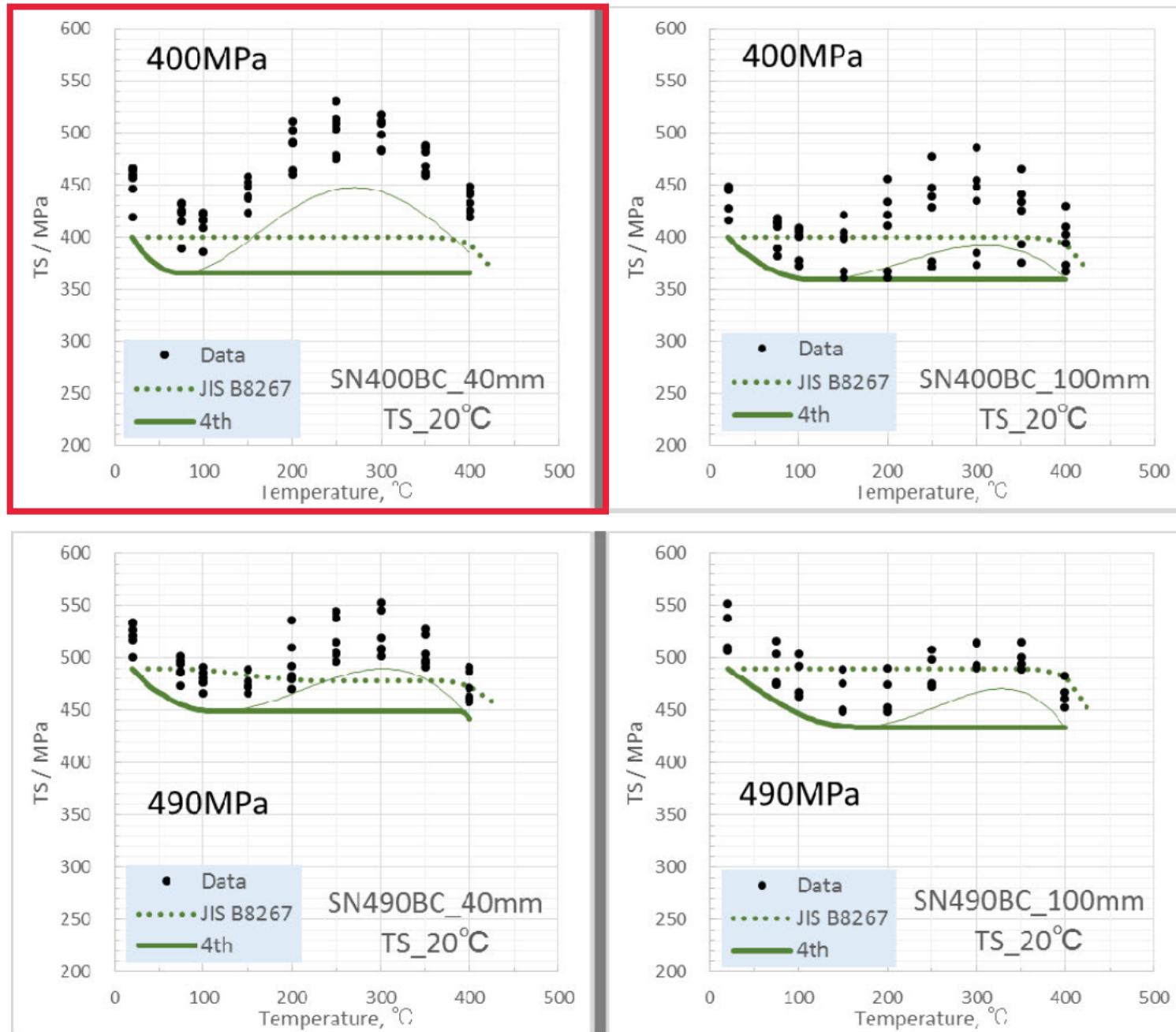
2. Su値のトレンドカーブ: SN490B&C_40mm



2 Su値のトレンドカーブ SN490B&C_100mm



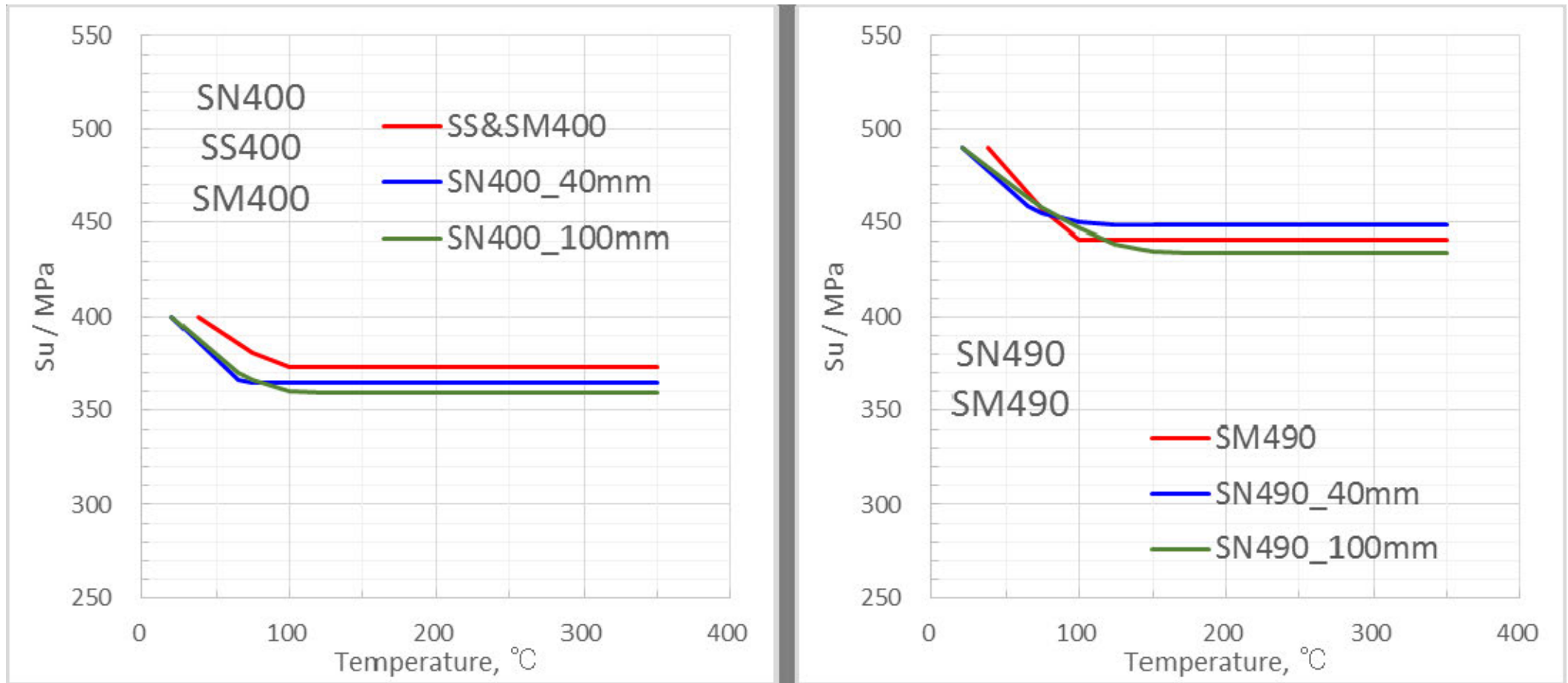
2. Su値のトレンドカーブ: 資料28-7-3(室温規定値の引下げ無し)



3. 考察：SS, SM材とのSuの比較

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	
SS400	400	215	400	-	381	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	
SM400A		235															
SM400B		245															
SM400C																	
SM490A	490	295	490	-	457	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	
SM490B		315															
SM490C		325															
SN400B	400	215	400	370	366	360	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359
SN400C		235	400	366	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
SN490B	490	295	490	463	458	447	439	435	434	434	434	434	434	434	434	434	434
SN490C		325	490	459	455	450	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449

3. 考察: SS, SM材とのSuの比較



3. 考察：S値(SN400B, SN400C)

SN400B, SN400C S_T : 400MPa S_Y : 215MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.926	0.916	0.901	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.870	0.851	0.816	0.791	0.773	0.756	0.738	0.719	0.696	0.671	0.645	0.622	0.605
$1/3.5 \times S_T$	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	125.7	116.4	115.2	113.3	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8
$2/3 \times S_Y$	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	143.3	124.7	122.0	116.9	113.4	110.7	108.3	105.8	103.0	99.7	96.2	92.5	89.1	86.7
S	114.3	114.3	114.3	113.3	112.8	110.7	108.3	105.8	103.0	99.7	96.2	92.5	89.1	86.7

SN400B, SN400C S_T : 400MPa S_Y : 235MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.916	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.885	0.871	0.848	0.836	0.828	0.820	0.808	0.790	0.765	0.734	0.699	0.665	0.636
$1/3.5 \times S_T$	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	125.7	115.1	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8
$2/3 \times S_Y$	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	156.7	138.6	136.4	132.8	130.9	129.7	128.5	126.6	123.7	119.8	115.0	109.6	104.2	99.6
S	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	109.6	104.2	99.6

3 考察：S値(SN490B, SN490C)

朱書き：B材とC材一括解析による変更箇所

SN490B, SN490C S_T : 490MPa S_Y : 295MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.946	0.935	0.912	0.895	0.887	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.893	0.875	0.836	0.804	0.777	0.753	0.730	0.709	0.687	0.666	0.645	0.626	0.610
$1/3.5 \times S_T$	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	154.0	145.6	144.0	140.4	137.9	136.6	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4
$2/3 \times S_Y$	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	196.7	175.7	172.1	164.4	158.2	152.8	148.1	143.6	139.4	135.1	130.9	126.9	123.2	120.0
S	140.0	140.0	140.0	140.0	137.9	136.6	136.4	136.4	136.4	135.1	130.9	126.9	123.2	120.0

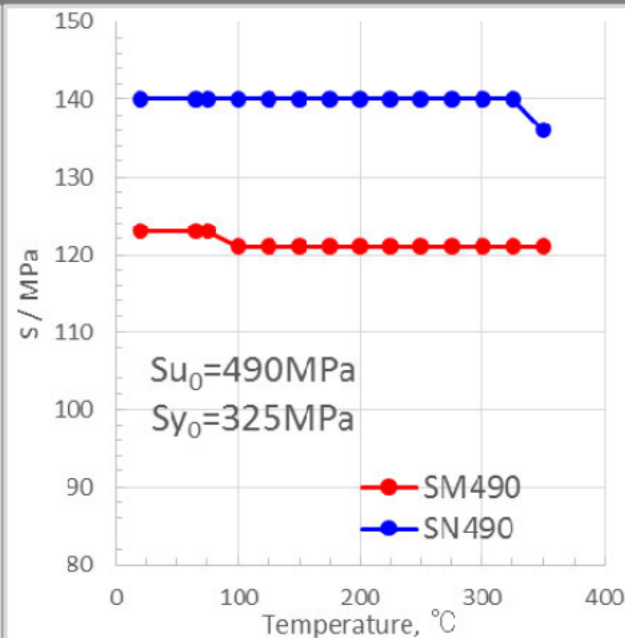
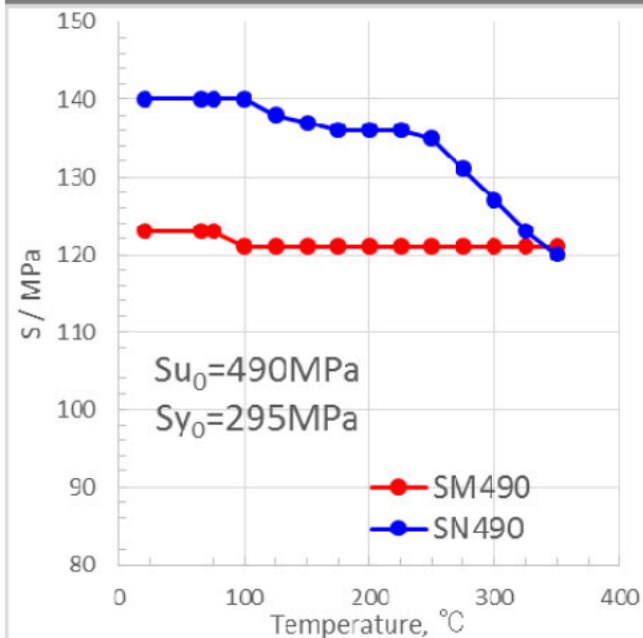
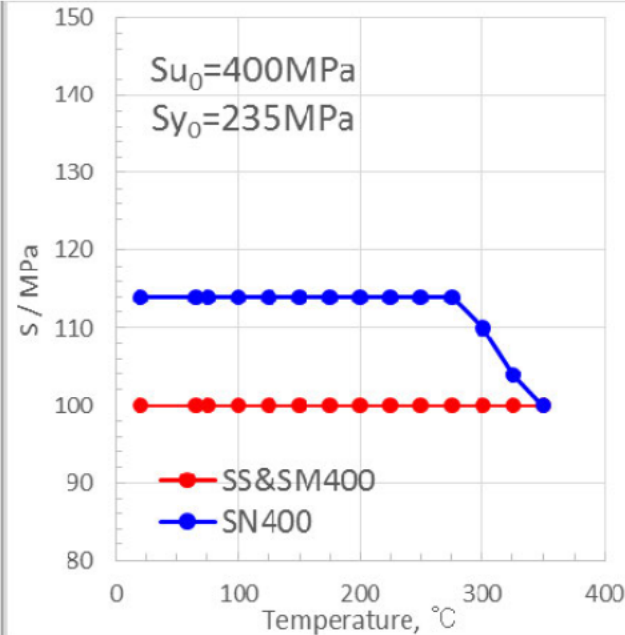
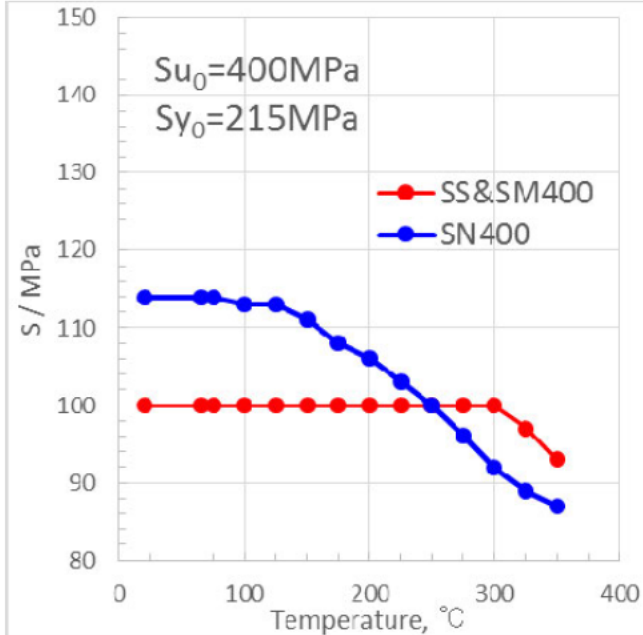
SN490B, SN490C S_T : 490MPa S_Y : 325MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.937	0.930	0.918	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.900	0.884	0.852	0.826	0.805	0.784	0.764	0.741	0.718	0.693	0.668	0.645	0.627
$1/3.5 \times S_T$	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	154.0	144.4	143.1	141.4	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1
$2/3 \times S_Y$	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	216.7	195.0	191.6	184.5	179.0	174.3	169.9	165.4	160.6	155.5	150.1	144.7	139.8	135.8
S	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	139.8	135.8

3. 考察: SS, SM材とのS値の比較

朱書き: B材とC材一括解析による変更箇所

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	
SS400	400	215	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	93	
SM400A		235	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
SM400B		245	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SM400C																	
SM490A	490	295	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
SM490B		315	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
SM490C		325	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
SN400B	400	215	114	114	114	113	113	111	108	106	103	100	96.2	92.5	89.1	86.7	
SN400C		235	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	110	104	100
SN490B	490	295	140	140	140	140	138	137	136	136	136	135	131	127	123	120	
SN490C		325	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	136

3 考察: SS, SM材とのS値の比較



- SN400, 100mm板厚材のS値は、250°C以下ではSS&SM400より高いが、250°Cを超える高温域ではSS&SM400よりも低い

SN400, 40mm板厚材のS値は、室温から350°Cまでの温度域で、SS&SM400と同等以上である

SN490, 100mm板厚材のS値は、350°CでSS&SM490の値を若干下回るが、325°C以下の温度域ではSS&SM400の値より高い

SN490, 40mm板厚材のS値は、室温から350°Cまでの温度域で、SS&SM400の値よりも高い

以上の結果より、SN400の40mm及び100mm板厚材とSN490の100mm板厚材の350°CまでのS値はクリープ強度には支配されないと判断されるが、SN490の40mm板厚材のS値は、高温域でクリープ支配となる可能性がある

3. 考察:SS, SM相当材

(その2) ASME 規格材料

火技解釈 別表第1

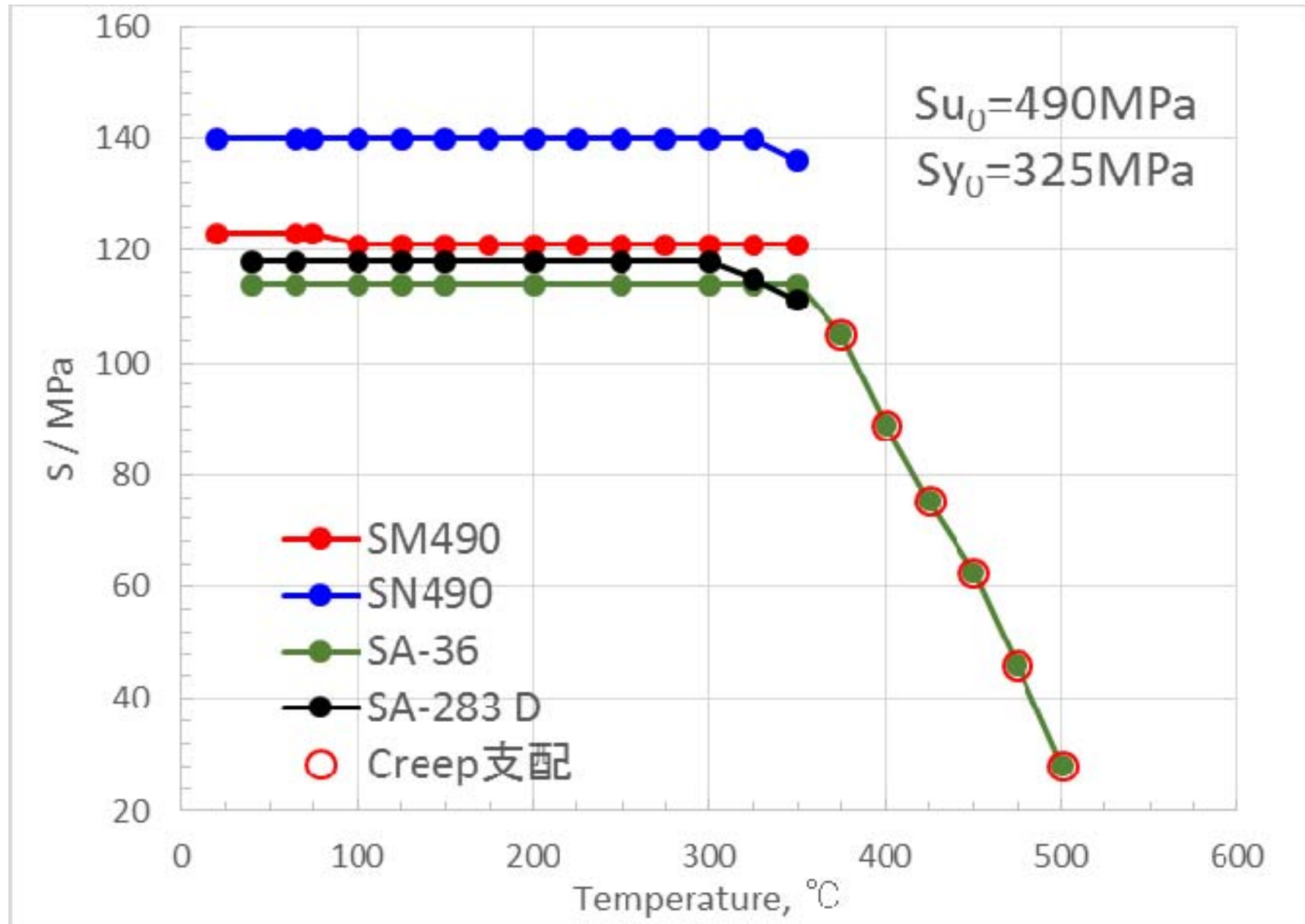
Sec II Part D

材料記号	ASME Sec II Part D(A97)		適用上 の留意 点	相当 JIS 材 (番号)	相当 JIS 材 (材料記号)
	ページ	行			
SA 36	6	26	—	JIS G 3106(2008)	SM400A
SA 53 S-B	10	26	—	JIS G 3454(2012)	STPG410
SA 53 TYPE E-A	2	24, 25	(7)	—	—
SA 53 TYPE E-B	10	24, 25	(7)	—	—
SA 53 TYPE S-A	2	28	(7)	—	—
SA 53 TYPE F	2	27	(7)	—	—
SA 105	18	6	—	JIS G 3201(1988)	SF490A

材料記号	ASME Sec II Part D(A97)		適用上 の留意 点	相当 JIS 材 (番号)	相当 JIS 材 (材料記号)
	ページ	行			
SA 250 T1	26	32, 33	—	JIS G 3462(2011)	STBA12
SA 250 T1a	26	40, 41	—	JIS G 3462(2011)	STBA13
SA 250 T1b	26	25, 26	—	—	—
SA 266 1	6	38	—	—	—
SA 266 2	18	11	—	—	—
SA 266 3	22	20	—	—	—
SA 268 TP410	50	3, 5	—	JIS G 3463(2011)	SUS410TB
SA 268 TP430	50	26, 27	—	JIS G 3463(2011)	SUS430TB
SA 283 B	6	2	—	JIS G 3101(2010)	SS330
SA 283 C	6	10	(8)	—	—
SA 283 D	10	22	—	JIS G 3101(2010)	SS400
SA 285 C	6	12	(8) (9)	—	—

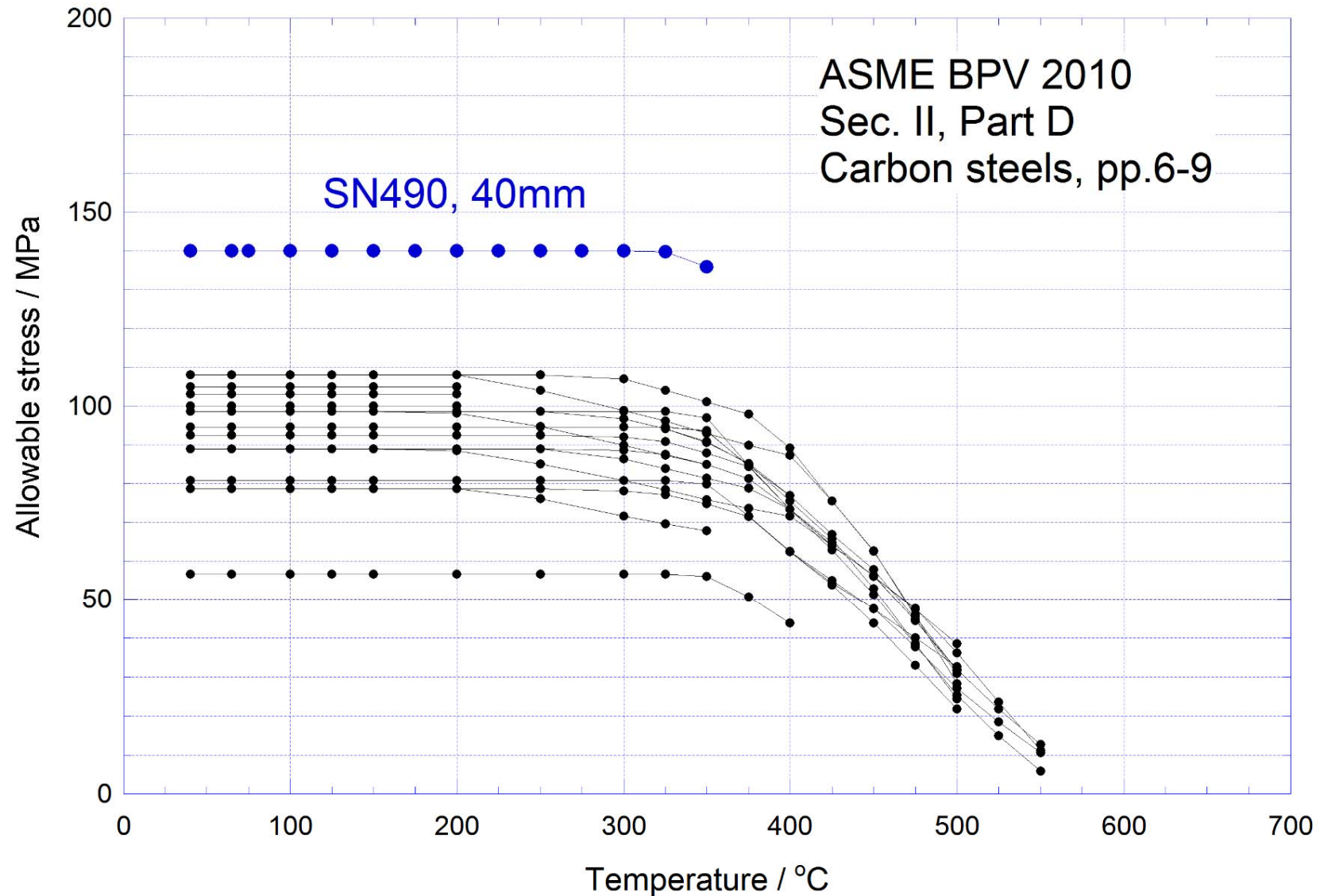
3. 考察: SN490, 40mm板厚材

325°C及び350°Cのs値は、
クリープ支配の可能性が高い



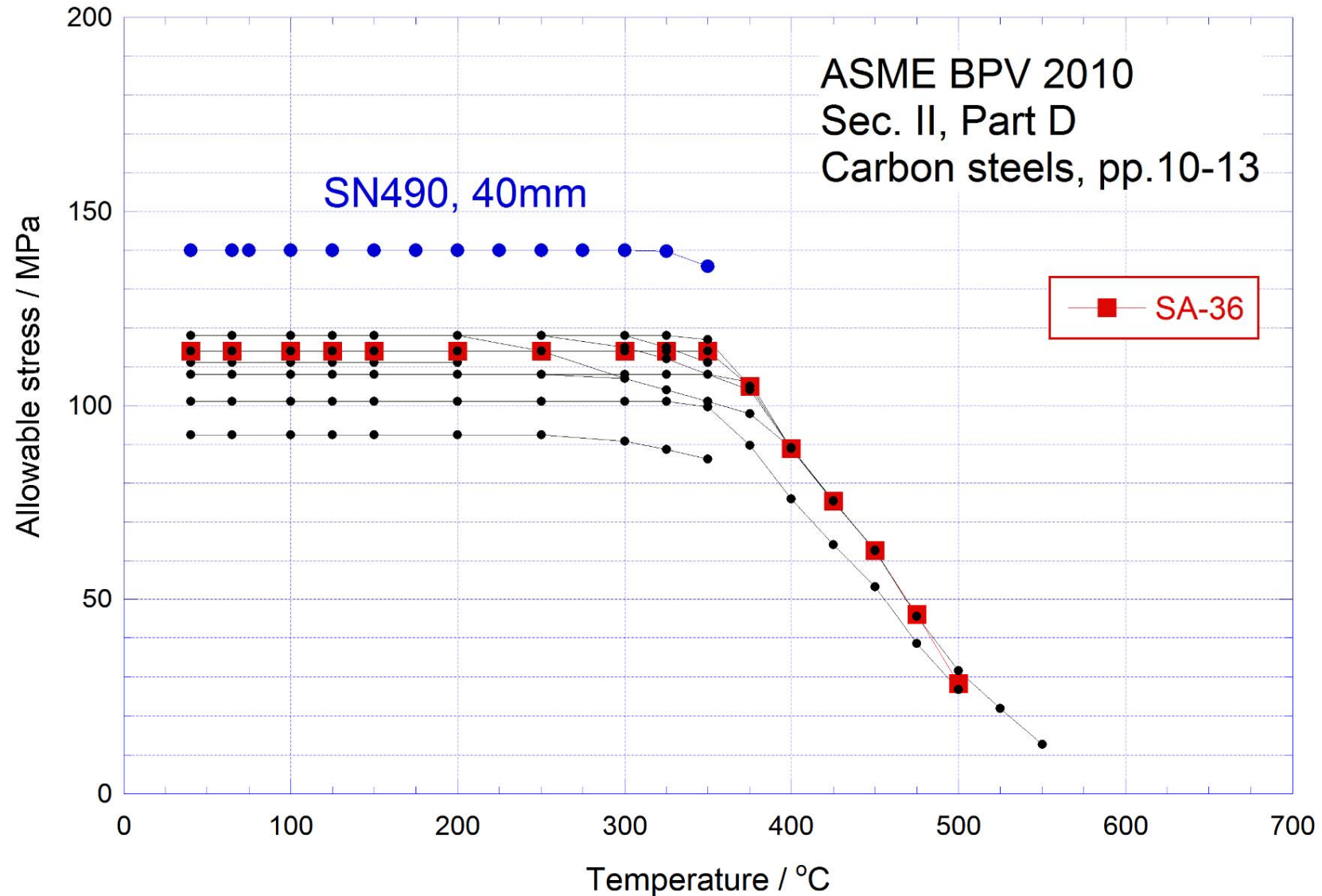
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 1/5

Min. Tensile Strength: 275-380 MPa



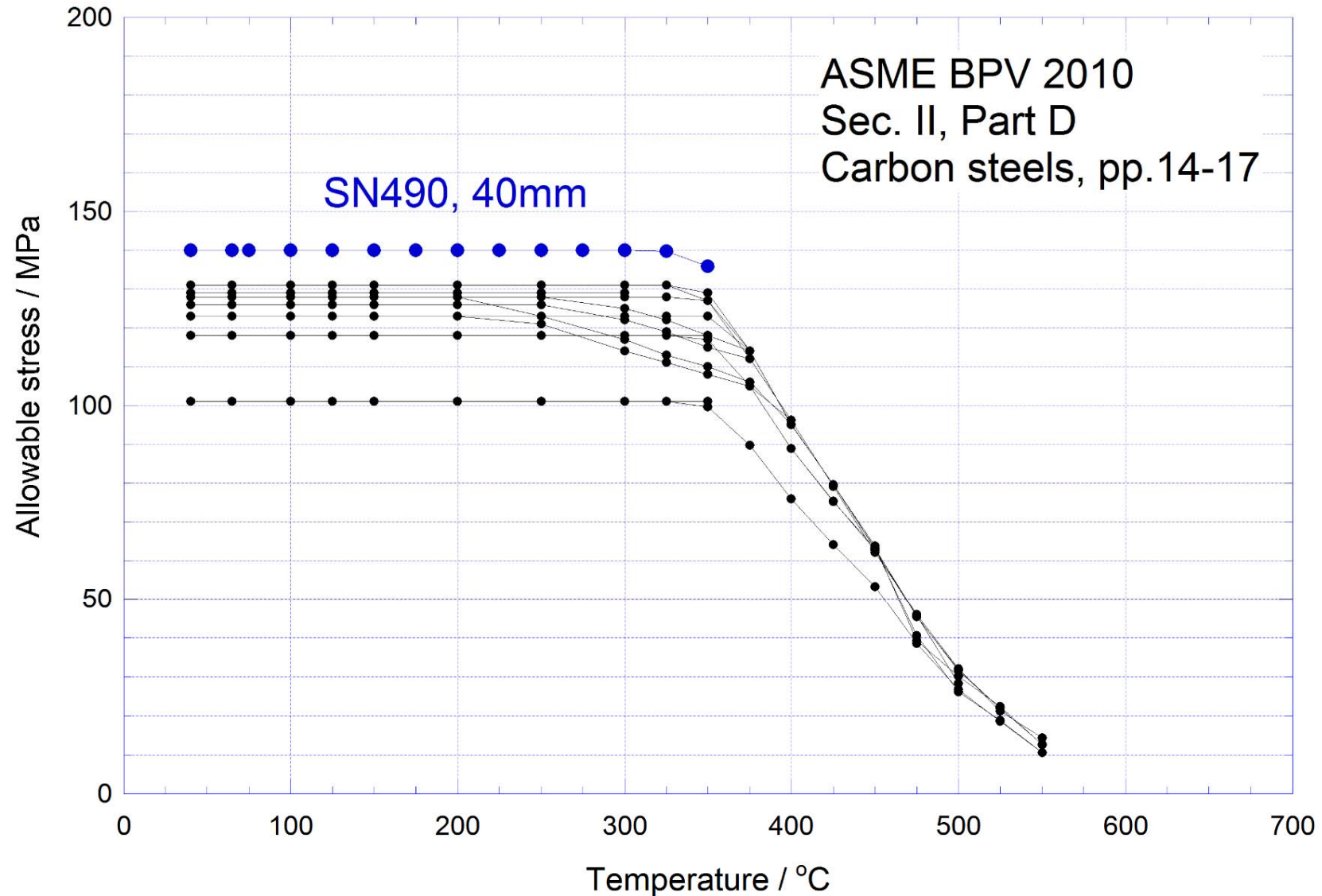
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 2/5

Min. Tensile Strength: 380-415 MPa



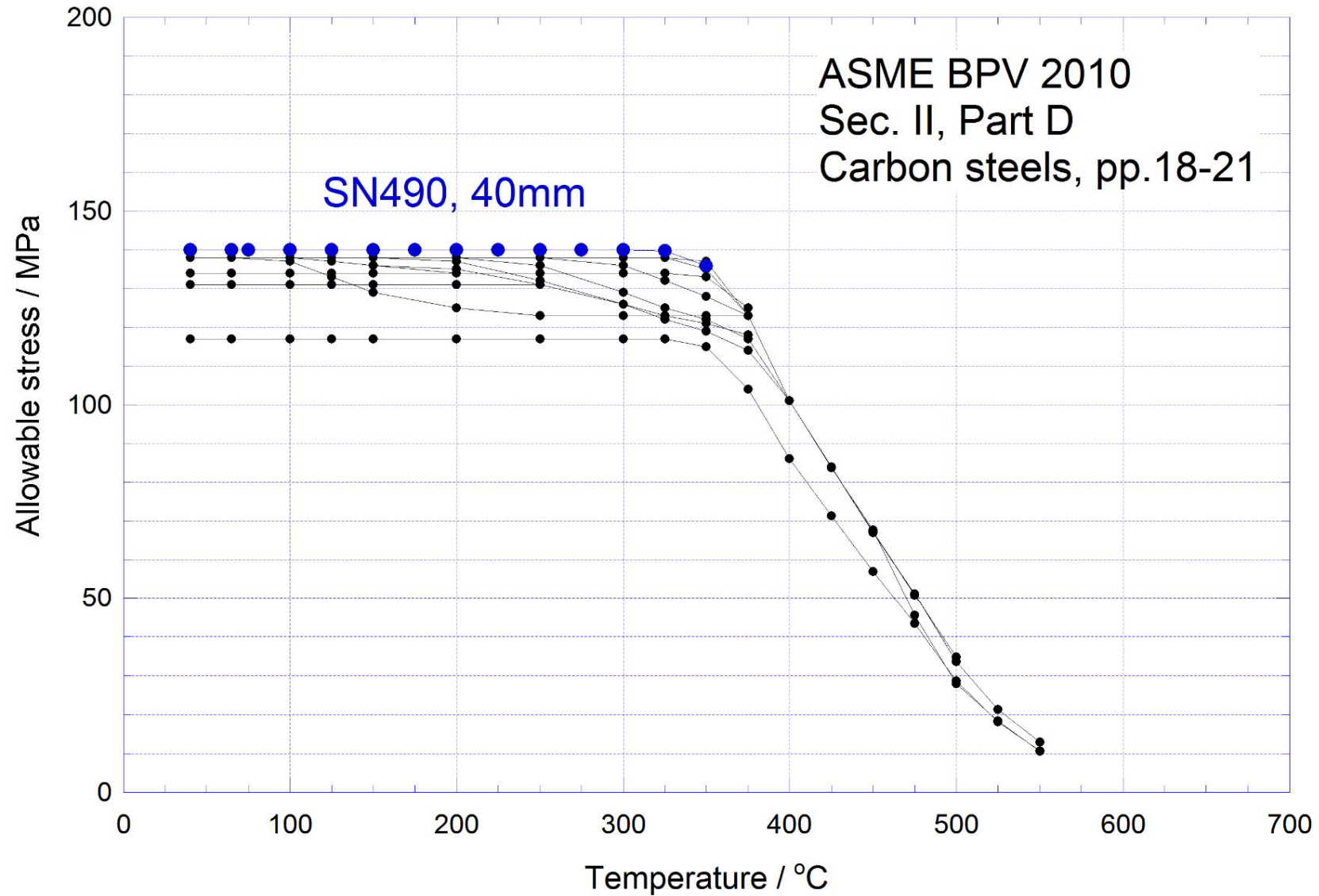
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 3/5

Min. Tensile Strength: 415-460 MPa



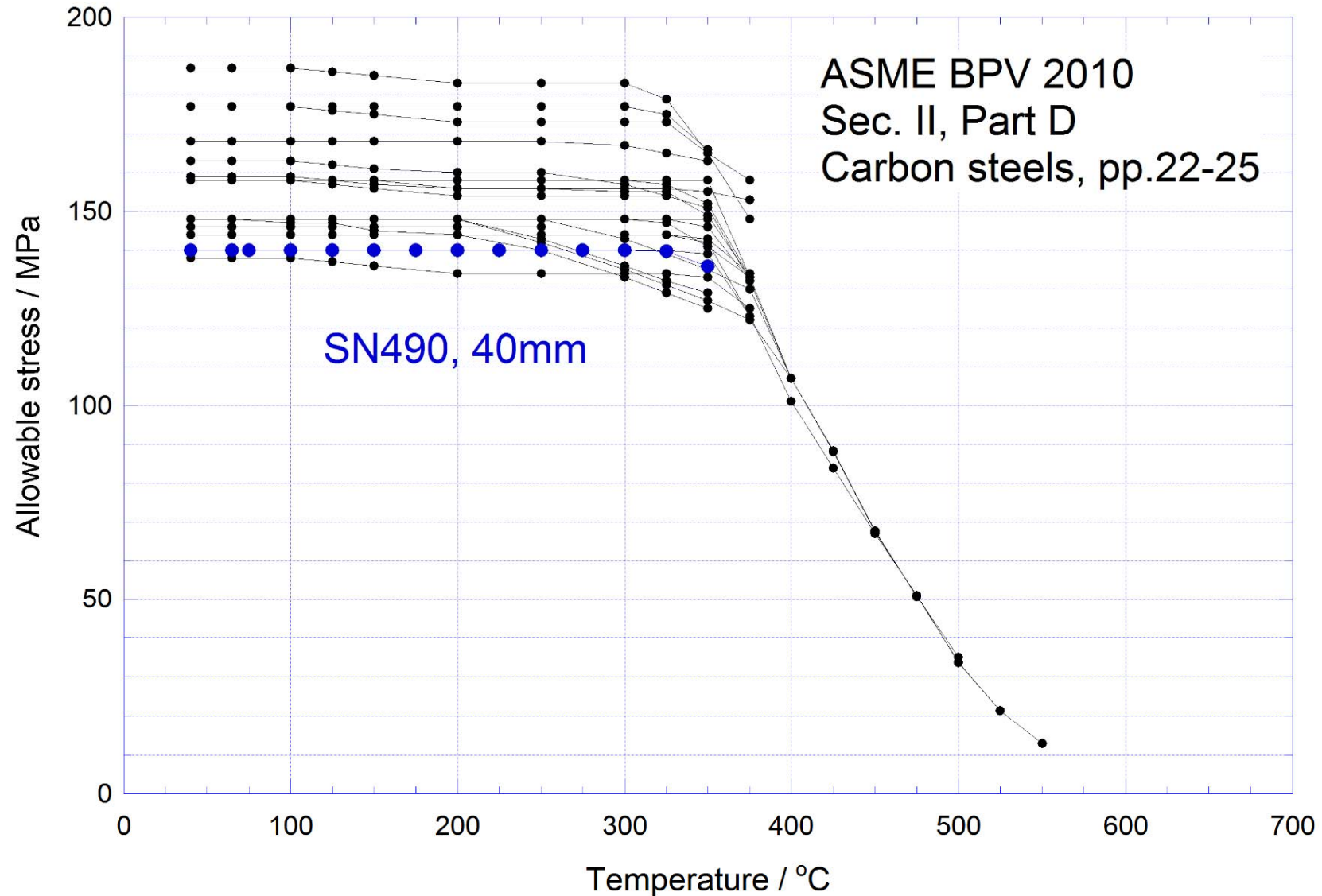
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 4/5

Min. Tensile Strength: 460-485 MPa



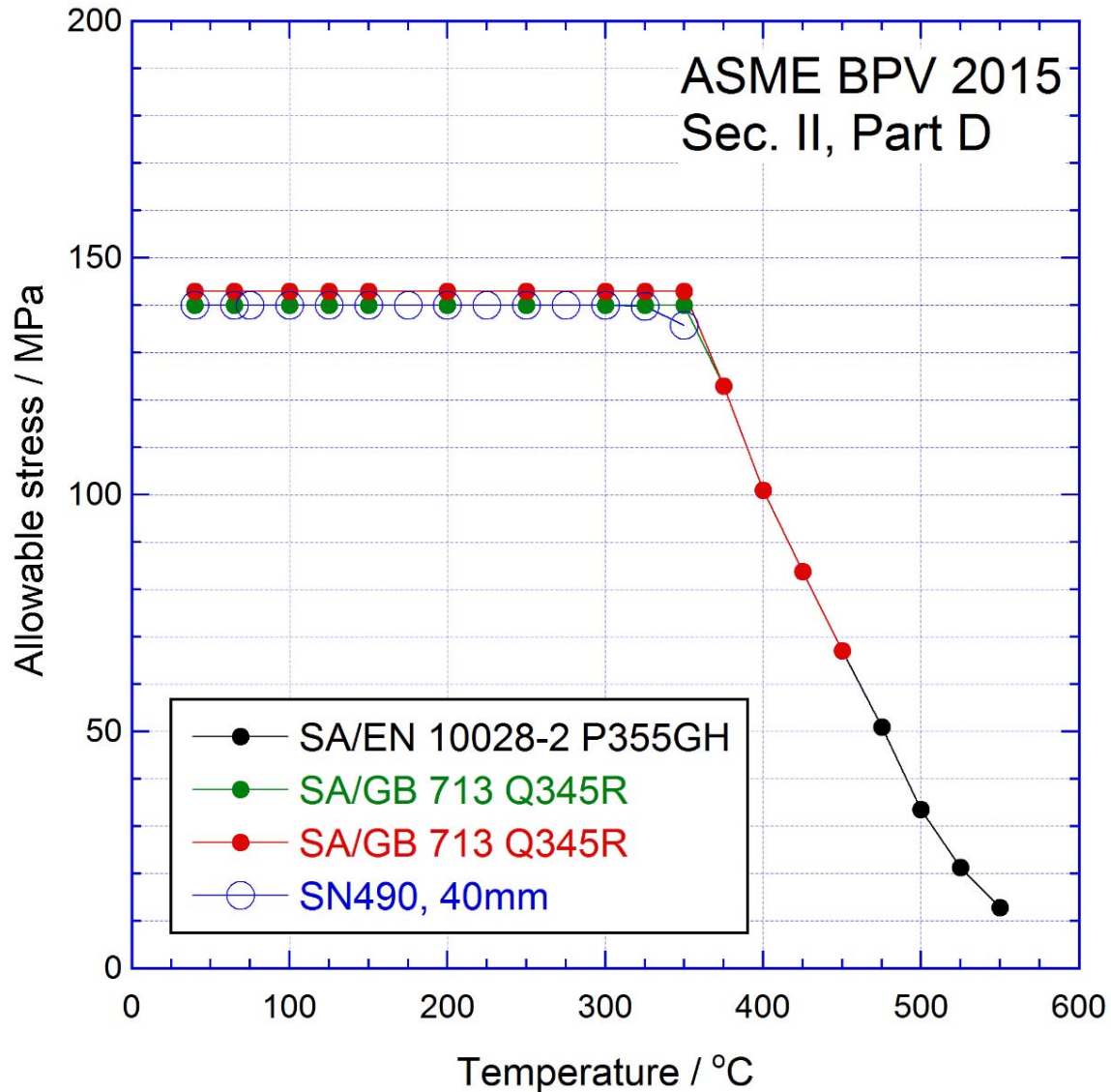
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 5/5

Min. Tensile Strength: 485-655 MPa



3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2015E

比較材の375°C以上のS値はクリープ支配



Spec.	SA/EN 10028-2	SA/GB 713	SA/GB 713	SN490
Grade	P355GH	Q345R	Q345R	40mm
Su ₀	490MPa	490MPa	500MPa	490MPa
Sy ₀	315MPa	315MPa	325MPa	325MPa
Temp.	Allowable stress / MPa			
40	140	140	143	140
65	140	140	143	140
75				140
100	140	140	143	140
125	140	140	143	140
150	140	140	143	140
175				140
200	140	140	143	140
225				140
250	140	140	143	140
275				140
300	140	140	143	140
325	140	140	143	140
350	140	140	143	136
375	123	123	123	
400	101	101	101	
425	83.8	83.8	83.8	
450	67.1	67.1	67.1	
475	51.0			
500	33.6			
525	21.3			
550	12.9			

3. 参考：炭素鋼の化学成分(%)

鋼種	厚さ, t (mm)	C	Si	Mn	P	S	Al
SN490A* ¹	6 ≤ t ≤ 100	≤0.24	-	-	≤0.050	≤0.050	-
SN400B* ¹	6 ≤ t ≤ 50	≤0.20	≤0.35	0.60-1.50	≤0.030	≤0.015	-
	50 < t ≤ 100	≤0.22					
SN400C* ¹	16 ≤ t ≤ 50	≤0.20	≤0.35	0.60-1.50	≤0.020	≤0.008	-
	50 < t ≤ 100	≤0.22					
SN490B* ¹	6 ≤ t ≤ 50	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	-
	50 < t ≤ 100	≤0.20					
SN490C* ¹	16 ≤ t ≤ 50	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	-
	50 < t ≤ 100	≤0.20					
EN 10028-2 P355GH		0.100-0.220	≤0.60	1.10-1.70	≤0.025	≤0.010	≥0.020
GB713 Q345R		≤0.20	≤0.55	1.20-1.60	≤0.025	≤0.015	≥0.020* ²

鋼種	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Ti	N	Ni+Cr+Cu+Mo
EN 10028-2 P355GH	≤0.30	≤0.30	≤0.30	≤0.08	≤0.040	≤0.020	≤0.030	≤0.012	≤0.70

*1: JIS G3136: 2012, 建築鋼材用圧延鋼材 (SN400A, SN400B, SN400C, SN490B, SN490C)
必要に応じて, この表以外の合金元素を添加しても良い。

*2: Alt, Where Nb, Ti and V are added to the steel the lower limit of Alt is not applicable.

3. まとめ – 1/2

□ S_y 解析条件

- 下降伏点を室温基準値とすると、試験結果(データ)が評価結果(ベストフィットトレンドカーブ)を下回る非保守的な結果となる場合があるが、上降伏点を室温基準値とすると、非保守的な結果は認められない
- 上降伏点を室温基準値としても、下降伏点を室温基準値とした場合に比べて0.2%耐力の室温基準値に対する比のばらつきの程度は、必ずしも増大するわけではなく、逆に縮小する場合もある
- 以上の結果から、室温の基準値には下降伏点ではなく、上降伏点を用いた方が、保守的なベストフィットトレンドカーブを合理的に評価することができる

□ トレンドカーブ

- JIS B8267の標準トレンドカーブを試験結果(データ)が下回る非保守的なケースが認められるが、データ解析で求めたベストフィットトレンドカーブではそのような非保守的なケースは認められず、保守的である
- B材とC材を単独で解析してもその違いは小さく、B材とC材を一括解析した結果と有意差はほとんど認められない
- 以上の結果から、B材とC材を一括解析して求めたベストフィットトレンドカーブを採用することが妥当と考えられる

3. まとめ - 2/2

□ 回帰次数

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し、2次より3次、3次より4次の方が解析精度は向上するが、4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットのトレンドカーブの回帰次数による違いは小さい
- 以上の結果から、4次回帰の解析結果を選択するのが妥当と考えられる

□ S値

- 上記の検討結果に基づいて、室温基準値に上降伏点を用いて、温度の4次回帰で求めたベストフィットトレンドカーブから、室温から350°CまでのS値(暫定案)を算出し、SS材及びSM材のS値と比較した
- 350°CにおけるSN400の40mm及び100mm板厚材とSN490の100mm板厚材のS値は、SS材及びSM材と同等あるいはそれ以下であり、クリープ強度には支配されないと判断される
- SN490の40mm板厚材のS値は、350°CでもSS材及びSM材よりも大きな値であり、高温域でクリープ支配となる可能性があるが、室温の規定最小値が同程度であるASME材のS値と同等であり、これらASME材の350°CのS値は引張支配であることから、本解析で得られたS値を採用しても問題ないと推察される