ケベック高等工科大学（カナダ）　研修報告書
オーステナイト単相凝固金属組織が凝固割れ感受性に及ぼす影響の調査

工学研究科　機械物理工学専攻　齋藤　龍也

１．　はじめに

本報告書では，2016 年 8 月 8 日から同年 9 月 2 日までの間，カナダのケベック高等工科大学で行った共同研究について報告する．

２．　共同研究課題の決定

カナダ南部は工業的に非常に発達しており，特にケベック州モントリオールにおいては航空宇宙産業が集積しており，このため，企業と大学の間で盛んに共同研究が行われている．広島大学材料接合工学研究室では，2013 年よりケベック高等工科大学と共同研究を行っており，主に溶接についての研究がなされている．

本共同研究では，ステンレス鋼を異材溶接した際のオーステナイト単層凝固材の組織とその高温割れ感受性の関係の調査を行った．

３．　共同研究スケジュール

8/8：出国
8/8 - 9/2：派遣先での研究活動
9/3：帰国

４．　共同研究派遣先の概要

大学名：ケベック高等工科大学
所在地：カナダ　ケベック州　モントリオール
指導教員：Prof. Philippe Bocher

５．　共同研究の内容

５．１　概要

現在，ステンレス鋼が様々な構造物に用いられている．ステンレス鋼は合金元素としてクロムやニッケルを多量に添加しており，耐食性が高い．この合金元素であるクロムはフェライト安定化元素であり，ニッケルはオーステナイト安定化元素であるため，これらの添加量によってその金属の相が変化する．どのような相をしているかを判定する際には Fig. 5.1.1 に示すシェフラーの組織図が用いられる．このグラフは横軸にフェライト安定化元素の量から算出されるクロム当量をとり，縦軸にはオーステナイト安定化元素の量から算出されるニッケル当量をとっている．その材料の化学組成から，各相の割合を知ることが出来，その相はフェライト，オーステナイト，マルテンサイトに大別される．この中でもオーステナイト単相凝固するオーステナイト系ステンレス鋼は他のものと比べ耐食性が最も高く，高温強度，靭性も優れているため広く用いられている．オーステナイト単相の場合，凝固割れが発生しやすいため，フェライトが数%現れるよう化学組成を調整している．しかしながら，他の材料と異材溶接を行った際，溶接部においてそれぞれの材料で希釈され化学組成が変化する場合があり，結果的に溶接部がオーステナイト単相の化学組成になってしまい凝固割れが発生する可能性が高くなる．

シェフラーの組織図上でオーステナイト単層となる領域は広いが，その中でも凝固割れ感受性については領域によって勾配があることが現在までに分かっている．これらの溶接後の試験片に対して組織観察を行い，組織の形態と凝固割れ感受性の関係を調査した．

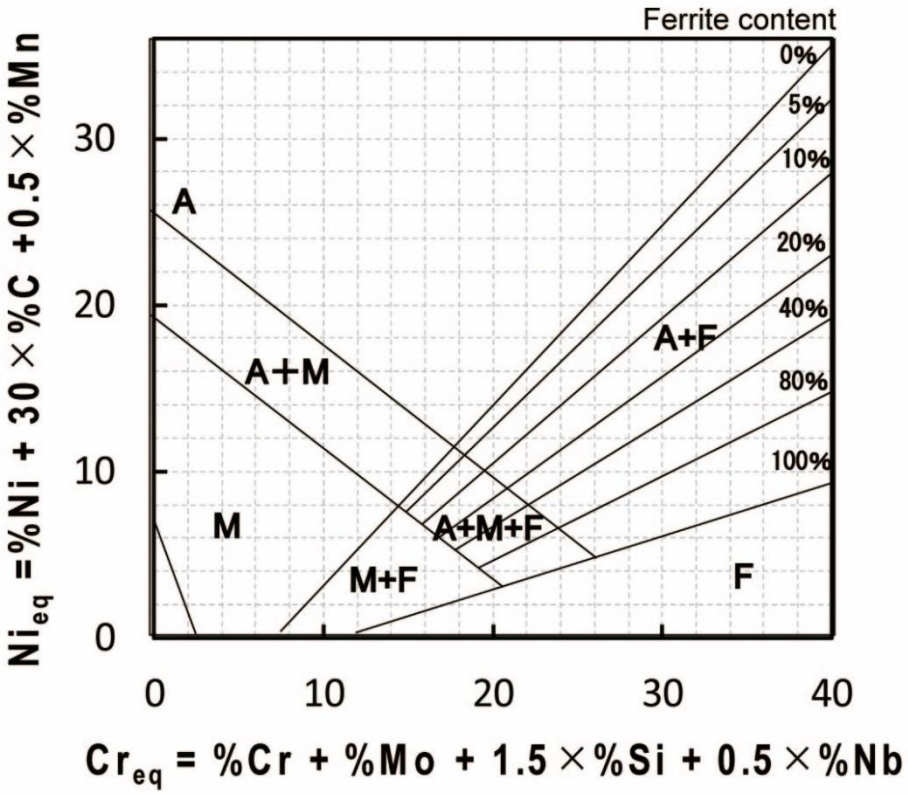


Fig. 5.1.1 Schaeffler diagram.

５．２　供試材料および実験条件

本共同研究では，現在までに広島大学で行われてきた高温割れ試験であるトランスバレストレイン試験を行った試験片について組織観察を行った．観察視野は溶接ビード表面について観察を行った．今回，組織観察を行った試験片の化学組成を Table 5.2.1 に示す．また，それらのクロム当量，ニッケル当量をとった際のシェフラーの組織図上の点を各試験片におけるトランスバレストレイン試験時の最大凝固割れ長さをともに Fig. 5.2.1 に示す．観察結果より，各試験片によってデンドライト組織に違いがあった. (Fig. 5.2.2). ゆえに, デンドライト組織について調査を行った. 顕微鏡によって得られた画像を 10×10 μm の格子で囲み, その格子内をデンドライト二次アームが成長しているデンドライト一次アームが横断している場合は 1，途中までの場合は 0.5，二次アームが成長していない場合は 0 とし，式(1)のようなデンドライト率を定義し，その値によって評価を行った．計測例を Fig. 5.2.3 に示す.

Table. 5.2.1 Chemical composition.

T-V test number	Cr	Mo	Si	Ni	C	Mn	P	S	Fe
SC007	23.0		0.56	16.7	0.032	1.52	0.0268	0.0007	Bal.
SC006	22.0		0.59	15.4	0.027	1.50	0.0283	0.0006	Bal.
SC008	4.0		0.27	30.4	0.017	0.58	0.0113	0.0008	Bal.
SC009	8.0		0.39	24.6	0.014	0.82	0.0178	0.0006	Bal.
SC011	9.7		0.44	22.1	0.013	0.92	0.0205	0.0006	Bal.
SC016	14.6		0.58	15.2	0.009	1.21	0.0283	0.0004	Bal.
SC003	19.0	3.74	0.51	23.9	0.005	1.07	0.0273	0.0001	Bal.
SC015	18.8	3.07	0.54	21.4	0.005	1.13	0.0285	0.0002	Bal.
SC004	21.0		0.55	22.6	0.011	1.12	0.0258	0.0004	Bal.
SC017	20.4		0.57	20.2	0.010	1.18	0.0274	0.0004	Bal.
SC013	14.4		0.58	27.8	0.006	1.20	0.0276	0.0003	Bal.
SC012	15.1		0.60	24.6	0.006	1.24	0.0287	0.0003	Bal.
SC020	17.4		0.56	29.9	0.016	1.08	0.0259	0.0004	Bal.
SC021	17.6		0.58	26.5	0.014	1.14	0.0273	0.0004	Bal.

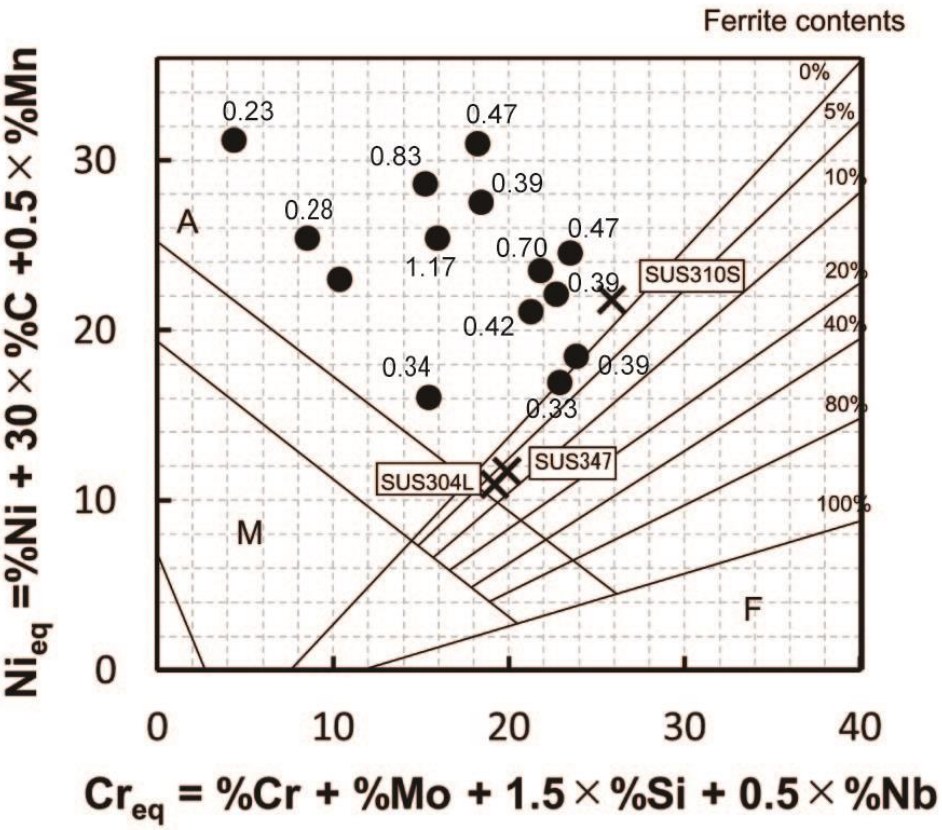
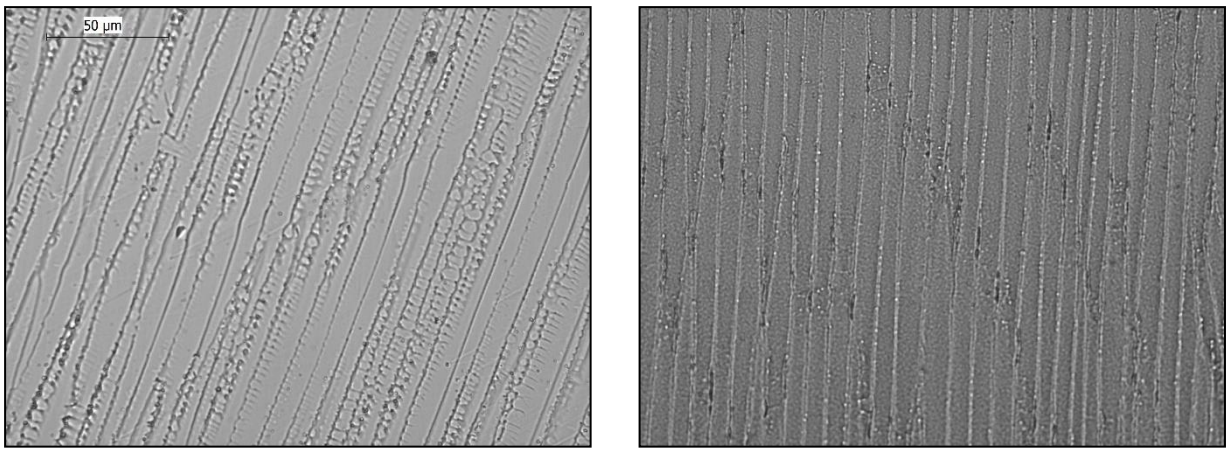


Fig. 5.2.1 Specimens on schaeffler diagram.



(a) Dendrite shape of specimen sc013 (b) Dendrite shape of specimen sc017

Fig. 5.2.2 Difference of dendrite shape.

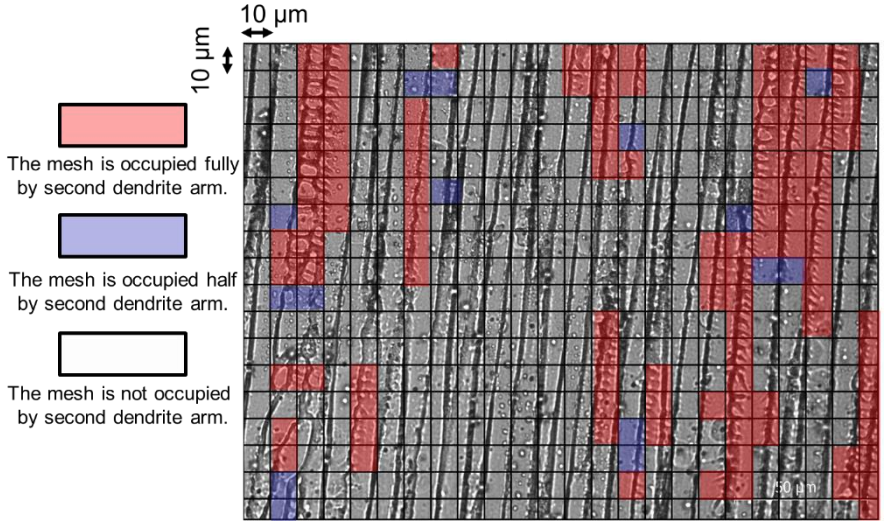


Fig. 5.2.3 Example of dendrite percent.

$$\frac{(\square \times 1 + \square \times 0.5 + \square \times 0)}{\text{Total number of mesh}} \times 100 \quad \cdots\cdot (1)$$

５．３　実験結果および考察

今回の組織観察によって得られたデンドライト率と凝固割れの関係を Fig. 5.3.1 に示す．この結果より，デンドライト率と凝固割れ最大長さには比例関係が成り立っている傾向が得られ，デンドライト二次アームが成長しているほど，凝固割れ最大長さが長くなるということが分かった．凝固割れは，金属の凝固過程においてデンドライトの境界面に残留する液膜によって凝固部の延性が低下し，そこに収縮ひずみが加わることで割れが発生する．このことから，デンドライト二次アームが成長することでデンドライトの境界により多く残留液膜が形成されるため，凝固割れ感受性が高くなると考えられる．しかし，デンドライト二次アームの間隔なども影響因子として考えられるため，今後検討すべき項目として考えている．

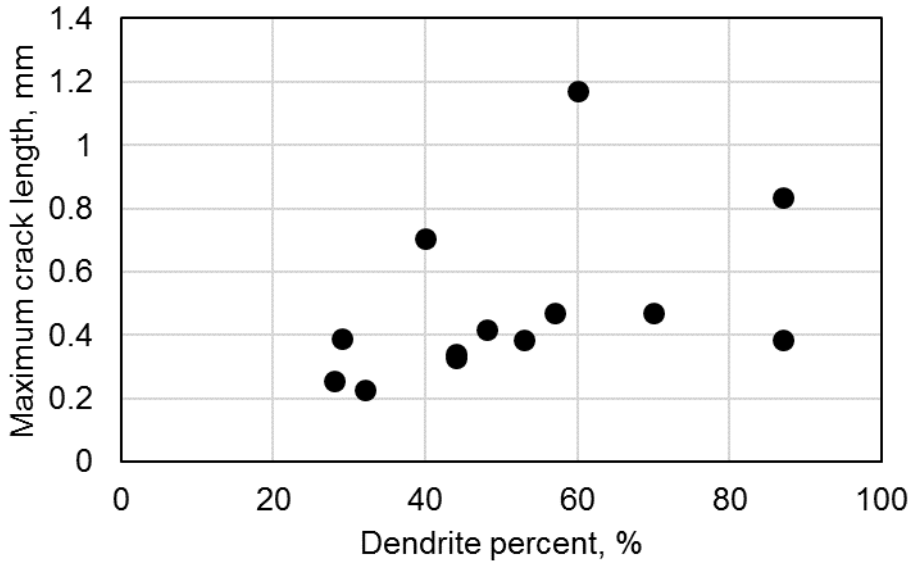


Fig. 5.3.1　Relationship between maximum crack length and dendrite percent.

５．４　結言

高温割れ評価試験を行った試験片に対して組織観察を行った結果，デンドライトの形態と高温割れ感受性には関係性があることが確認された．これは，デンドライトの形態によって凝固割れの原因である残留液膜が多量に残ったためと考えられる．

６．　まとめ

海外共同研究を通して，約 4 週間の滞在でしたが，貴重な体験をすることが出来ました．すべてのコミュニケーションを英語でとらなければならない環境下で，その難しさを実感しましたが，それ以上に自分の意思を伝えようとする姿勢が重要であるということを知ることが出来ました．また，海外の学生と交流し，研究活動を共にする中で，先生方や学生間でも研究についてのディスカッションをしている姿を頻繁に見かけました．このことから彼らの研究に対する積極性やモチベーションの高さを感じることが出来ました．

７．　謝辞

海外共同研究プログラムを通して，現地での研究の御指導および生活についても御助力いただいたケベック高等工科大学 Philippe Bocher 教授，研究助手 Nicolas Vanderesse 氏に厚く御礼申し上げます．

派遣期間中，研究室および研究施設の見学を開いていただきましたモントリオール理工科大学 Myriam Brochu 助教に深く御礼申し上げます．

今回，このような貴重な機会を与えてくださり，また研究へのご助言をいただきました篠崎健二教授，山本元道准教授，門井浩太助教に心より御礼申し上げます．

最後に，海外共同研究プログラムにおいて多大なるご支援ご協力をしていただいた実行委員会の諸先生方，高屋賢司様をはじめとする学生支援グループ国際事業担当の皆様に心より感謝の意を表するとともに本プログラムの益々の発展をお祈り申し上げます．