

博士論文

室町時代末期から江戸時代の鎧に用いられた鉄鋼材料の製作と加飾

Manufacturing and Decorating Steel of

Japanese Armatures Used in the Period from the end of the *Muromachi* to the *Edo*

東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻

保存科学研究領域 (美術工芸材料学)

釘屋 奈都子

KUGIYA, Natsuko

1310938

2014.3.25

論文目次

第1章 緒言・・ p.1

- 1.1 日本の甲冑の歴史
- 1.2 日本の甲冑の部位と材料
- 1.3 日本における製鉄と製品
- 1.4 先行研究
- 1.5 研究目的
- 1.6 論文構成

第2章 和鉄の鍛接方法

一炎中の火花「沸き花」発生を鍛接開始の指標とする和鉄鍛接機構・・・・・・・・ p.10

- 2.1 緒言
- 2.2 実験
 - 2.2.1 実験方法
 - 2.2.1.1 積沸し鍛錬
 - 2.2.1.2 折返し鍛錬
 - 2.2.2 酸素分圧および温度測定
 - 2.2.3 ノロと鍛錬鋼材の分析
- 2.3 実験結果
 - 2.3.1 加熱中の炎の色の変化と沸き花の発生
 - 2.3.2 積沸し鍛錬と折返し鍛錬中の温度と酸素分圧の変化
 - 2.3.3 鋼ブロック鍛接面近傍の炭素濃度とノロ
- 2.4 考察
 - 2.4.1 炎の色の変化の原因
 - 2.4.2 沸き花の発生機構
 - 2.4.3 鍛接界面の温度上昇
 - 2.4.4 鍛接の機構
- 2.5 結言

第3章 本研究で用いた室町時代末期から江戸時代の鎧試料・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.37

3.1 本研究で用いた鎧試料とその位置づけ

3.2 草摺

3.3 籠手

3.4 袖

3.5 肩上

3.6 鎖帷子

第4章 草摺小札の鋼板製作方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.48

4.1 緒言

4.2 実験

4.2.1 試料

4.2.2 比較試料鋼板の作製

4.2.3 実験方法

4.3 実験結果

4.3.1 小札鋼板

4.3.1.1 小札鋼板の炭素濃度

4.3.1.2 小札鋼板の非金属介在物の分布、組成および形状

4.3.2 比較試料鋼板

4.3.2.1 比較試料鋼板の炭素濃度

4.3.2.2 比較試料鋼板の非金属介在物の分布

4.3.3 小札鋼板と比較試料鋼板の硬さ

4.4. 考察

4.4.1 鋼板の炭素濃度と非金属介在物の分布から推定する鍛錬工程

4.4.2 硬さと非金属介在物からみた小札鋼板の延伸

4.4.3 小札鋼板の製作方法

4.4.3.1 鋼板の素材

4.4.3.2 小札鋼板の製作方法

4.5 結言

第5章 籠手、袖、肩上に用いられた鋼板の製作方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.75

- 5.1 緒言
- 5.2 実験
 - 5.2.1 試料
 - 5.2.2 実験方法
- 5.3 実験結果
 - 5.3.1 各部位の鎧鋼板の形状、寸法および地金厚さ
 - 5.3.2 各部位の鎧鋼板の炭素濃度と層数
 - 5.3.3 各部位の鎧鋼板の非金属介在物
 - 5.3.4 各部位の鎧鋼板の硬さ
- 5.4 考察
 - 5.4.1 鋼板の寸法と地金厚さの部位による比較
 - 5.4.2 鋼板の炭素濃度と層数の部位による比較
 - 5.4.2.1 炭素濃度
 - 5.4.2.2 炭素濃度による層数
 - 5.4.3 鋼板の硬さの部位による比較
 - 5.4.4 鋼板の折返し鍛錬回数
 - 5.4.5 部位による鋼板の特徴と使用
- 5.5 結言

第6章 鎖鋼線の製作方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.101

- 6.1 緒言
- 6.2 実験
 - 6.2.1 試料
 - 6.2.2 鍛造による棒鋼と鋼線の作製
 - 6.2.3 鋼線の焼なまし
 - 6.2.4 実験方法
- 6.3 実験結果
 - 6.3.1 鋼の輪の外観と寸法
 - 6.3.2 鋼の輪の平均炭素濃度

- 6.3.3 鋼の輪の金属組織と炭素濃度分布
- 6.3.4 鋼線内の結晶粒のアスペクト比
- 6.3.5 鋼線中の非金属介在物
- 6.3.6 鋼の輪の切り口の形状
- 6.3.7 草摺の鋼の輪の焼なましによる結晶粒の形状変化
- 6.3.8 草摺の鋼の輪の結晶粒の結晶面の配向性
- 6.3.9 鋼の輪の硬さ
- 6.3.10 鋼の輪の残留応力
- 6.3.11 鍛造による棒鋼の形状変化
- 6.4 考察
 - 6.4.1 鎖の鋼線の材料
 - 6.4.2 鋼線の規格
 - 6.4.3 鋼線の製作方法
 - 6.4.3.1 棒鋼の製作
 - 6.4.3.2 線引き工程
 - 6.4.3.3 鎧の鋼線の焼なまし
 - 6.4.4 鎖の製作方法
- 6.5 結言

第7章 漆による鎧鋼板の加飾と防食・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.135

- 7.1 緒言
- 7.2 実験
 - 7.2.1 試料
 - 7.2.2 実験方法
- 7.3 実験結果
 - 7.3.1 試料外観と断面観察
 - 7.3.1.1 試料外観
 - 7.3.1.2 断面観察
 - 7.3.2 鋼板塗装部
 - 7.3.2.1 塗料の種類

- 7.3.2.2 塗料の観察
 - (1) 塗料の観察と分析
 - (2) 塗料と使用された金色材料
- 7.3.2.3 塗装部の下地
- 7.3.3 塗装部と地金の界面観察と XRD 分析
- 7.4 考察
 - 7.4.1 塗装部に用いられた材料と塗布方法
 - 7.4.1.1 塗料層の種類
 - 7.4.1.2 下地層
 - 7.4.1.3 表面処理
 - 7.4.2 鋼板の加飾と防食
 - 7.4.2.1 加飾性
 - 7.4.2.2 防食性
- 5. 結言

第 8 章 総括・・ p.165

- 8.1 本研究の目的
- 8.2 本研究の結果
- 8.3 まとめ
- 8.4 保存科学的意義

謝辞

研究業績一覧

1章 緒言

1.1 日本の甲冑の歴史

日本において甲冑は、出土遺物や埴輪の装飾などの美術工芸品に見られるように、古墳時代にはすでに使用されており、長い歴史を持つ。その中で甲冑の形式は、武器および戦闘方法に合わせて変遷している。日本の甲冑の形式の変遷に関する研究¹⁾を参考にすると、日本の鎧は古墳時代の短甲（たんこう）*や挂甲（けいこう）**の形式に始まる。平安時代後期から鎌倉時代に騎馬戦が中心となると、弓矢や太刀による攻防がしやすい形式である大鎧***となる。また、室町時代末期から江戸時代にかけて歩兵戦による接近戦が主体となり、さらに火縄銃が導入されると、弓矢、日本刀、槍、火縄銃に対応した防御性が高く、且つ動きやすい当世具足が主流となる。江戸時代初期、島原の乱以降、武断政治から文治政治に変わると、装飾性を重視した甲冑や大鎧を模した復古調のものが現れる。その後、幕末の混乱の際に、甲冑の需要は一時的に高まるが、明治時代に入るとともに甲冑は終焉の時を迎える。このように甲冑の形式は、武器や戦闘方法に合わせて各時代で変化している。

*短甲：古墳時代の鎧の形式のひとつ。胴を護る丈の短い鎧。三角形や長方形の鋼板が鋳や革でとめて作られている。

**挂甲：古墳時代の鎧の形式のひとつ。小さい長方形の革や小札を紐か革で綴じて作られている。

***大鎧：平安時代の鎧の形式。梅檀（せんだん）の板、鳩尾（きゅうび）の板、大袖などを備え、騎射戦に特化した形になっている。

1.2 日本の甲冑の部位と材料

日本の甲冑は、複数の部位の鎧から構成されている。ここで甲冑という場合、「甲」が兜、「冑」が鎧を指すように、兜と鎧を含めたものをさす。Fig.1.1 に甲冑の一例と部位について示す。鎧の中でも、三つ物と呼ばれる主要部には兜（かぶと）、胴鎧（どうよろい）、袖（そで）がある。これらは頭、胴体、肩を守る鎧である。また、主要部を補足する鎧である小具足には、面具（めんぐ）、喉輪（のどわ）、籠手（こて）、脇当（わきあて）、草摺（くさずり）、佩楯（はいだて）などがあり、顔、首、腕、脇、脚などを守る。このように、日本の甲冑の場合、体の各部位に対応した鎧が個々に存在し、体全身を覆うように構成されている。

また、各鎧には複数の部品が用いられている。鎧の部位に使用される部品について山上²⁾の表を参考に Table 1.1 にまとめた。各部位の鎧用いられる部品には、小札(こざね)、威毛(おどしげ)、金具廻、金物、革所、結所、家地(いえじ)、板所、鎖などがある。これらの部品に使用される材料には、金属、革、布、糸、漆などが挙げられ、鎧には材料が複合的に用いられている。中でも、鉄鋼は、基礎となる板の材料として古墳時代より板や鎖として用いられており、火縄銃の導入などにより戦闘が激化してゆく流れの中、防御の役割を果たす上で重要な素材である。

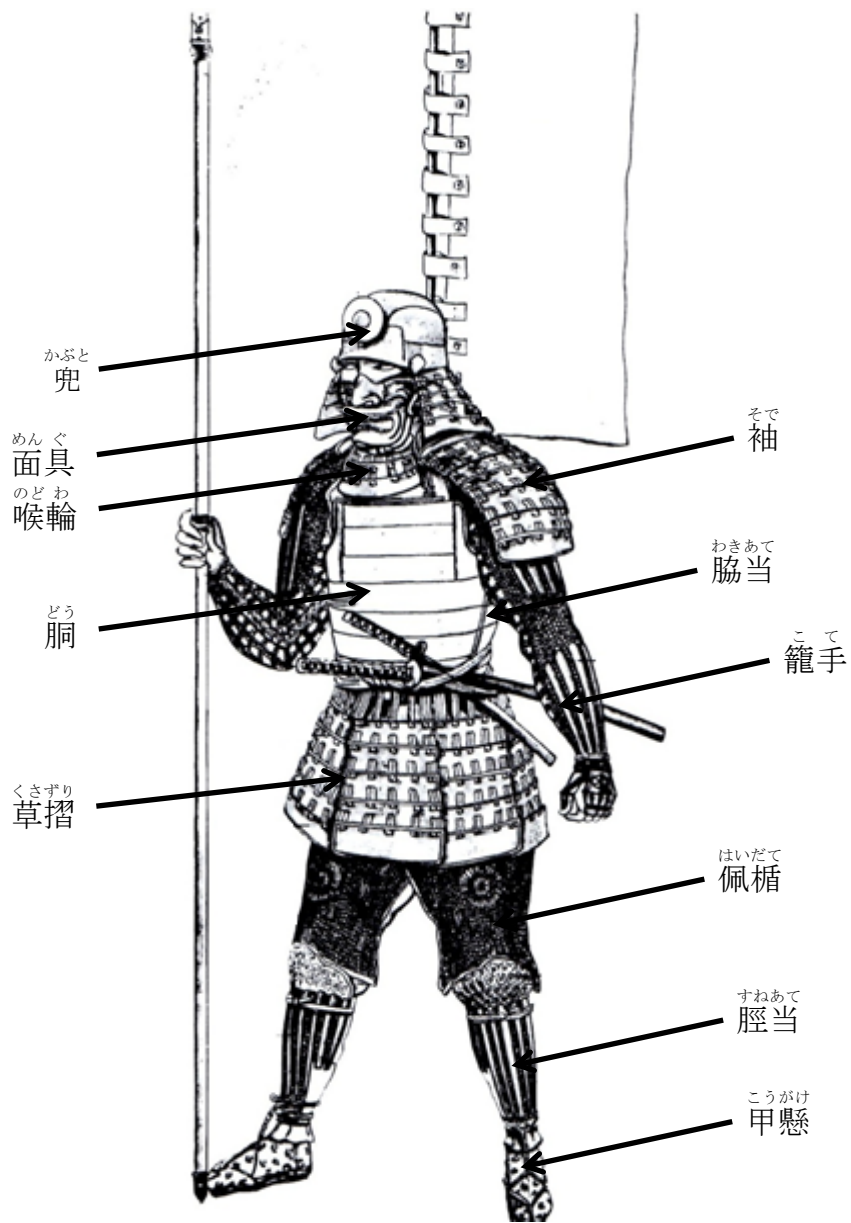


Fig.1.1 甲冑の一例と部位（笹間良彦「日本の甲冑武具事典」³⁾より転載）

Table 1.1 部位に使用される部品

	部位	使用される部品
三つ物	鎧	小札、威毛、金具廻、金物、革所、緒所（稀には家地、板所、鎖）
	兜	板所、金具廻、小札、威毛、金物、家地、革所、緒所、鎖
	袖	小札、威毛、金具廻、金物、革所、緒所（稀には家地、板所、鎖）
小具足	面具	板所、小札、威毛、金物、革所、緒所、家地、鎖
	喉輪	小札、威毛、金具廻、金物、革所、緒所（稀には鎖）
	籠手	家地、板所、鎖、緒所、金物（稀には金具廻、小札、威毛、革所）
	脇当	小札、威毛、金具廻、金物、家地、緒所、鎖（稀には革所、板所）
	佩楯	小札、威毛、家地、革所、緒所、板所、鎖
	脛当	板所、金物、家地、革所、緒所、鎖（稀には威毛）
	甲懸	板所、家地、革所、緒所、鎖（稀には金物）

1.3 日本における製鉄と製品

日本における製鉄は、明治時代に近代製鉄が始まるまで古来よりたたら製鉄が行われてきた。たたら製鉄では、磁鉄鉱である砂鉄を原料とし木炭の燃焼により加熱還元することにより「銑」（ずく）や「鋳」（けら）などを製造していた。まず、銑を生成し、約 70 時間の操業の後半で鋳塊を製造する。鋳は「大銅場」（おおどうば）****と「小銅場」（こどうば）で小割にされ、「玉鋼」（たまはがね）などになる。一方、銑や鋳から得られる「歩鋳」（ぶげら）は精錬工程である「大鍛冶」（おおかじ）で脱炭され、平均炭素濃度約 0.1% 程度の「包丁鉄」（ほうちょうてつ）あるいは「割り鉄」（わりてつ）として扱われていた。よって、刀鍛冶、鉄砲鍛冶などの各鍛冶屋は「玉鋼」や「包丁鉄」などの「和鉄」（わてつ）を用い、モノを製作していた。

「玉鋼」や「包丁鉄」などの和鉄は炭素濃度が不均質であるため、鋼の小片を鍛接する「積沸し鍛錬」（つみわかしたんれん）や、鋼材の中心部分に切れ目を入れ半分に折りたたみこれを藁灰と泥で覆って加熱して鍛接する「折返し鍛錬」（おりかえしたんれん）を行う。鍛冶の工程日本刀の場合、高炭素の不純物であるノロが少ない「玉鋼」を使用し「折返し鍛錬」を 10～15 回程度行って皮金（かわがね）とし、中に炭素濃度の低い鋼を芯金（しんがね）として挟んだ構造になっている⁴⁾。一方、釘などは「包丁鉄」を 1、2 回程度折り返して使用している。このように、鍛冶師は、作るモノの用途や機能を考慮しながら材質の異なる「玉鋼」や「包丁鉄」などを用い製作を行っている。

****大銅場：分銅を水車の力で引き上げ落すことで、たたら製鉄で製造された鋳塊を小塊にする設備。

たたら製鉄を行う山内の一部に設置してある。

1.4 先行研究

これまでの日本の鎧に関する研究では、鎧の形式や形式の変遷に関する研究^{1),2),3),5)}や甲冑師の系譜を調べた研究^{6),7)}などが行われてきた。また、考古学の分野では、考古遺跡から出土した甲冑製作や関連する遺跡や鉄滓に関する研究^{8),9)}などがある。一方、材料科学的観点から、鎧に用いられた材料や製造方法を示したものは少ない。俵⁴⁾は鎧の部品である小札と呼ばれる上野国の鋼板、満州の鋼板に関して、金属組織観察と化学分析を行った結果、これらの鋼板は炭素濃度が0.25mass%以下であり、日本刀に見られるような焼き入れなどの熱処理は施されていないことを報告している。また、宇野ら¹⁰⁾は法隆寺に奉納された鎧の異なる部位の鋼板の金属組織観察から、素材や製作方法が鋼板により異なり、鎧の鋼板の鍛造が粗漏であると結論づけている。また金山¹¹⁾は、古墳時代から江戸時代にかけて、時代の異なる出土遺物及び伝世品の小札に関して、従来研究を含め金属組織観察の結果をまとめ、室町時代末期以降の鋼板には、炭素濃度の異なる鋼を接合する「合わせ鍛え」（あわせぎたえ）や、「折返し鍛錬」が行われた鋼板が見られ始めることを明らかにしている。

以上の先行研究から、日本の鎧に用いられた鋼板については、金属組織から材料や製作方法や中でも「合わせ鍛え」のような特定の製作方法に着目した考察はあるものの、鋼板に用いられた材料や一連の製作方法に関する詳細な検討はなされていない。また、鎖の製作方法に関する研究はこれまでになされておらず、鎧に用いられた鉄鋼材料や製作方法に関しては未だ不明な点が多い。

1.5 研究目的

本研究の目的は、日本の鎧に用いられた鉄鋼について、材料や製作方法を明らかにすることである。本論文では、室町時代末期から江戸時代に製作されたと推定される鎧を研究対象とし、各鎧の鋼板や鋼線の使用材料や製作方法を明らかにすることを目的とする。また、加飾されている鎧鋼板については加飾方法を明らかにし、加飾と防食効果を検討する。

1.6 論文構成

1 章では日本の甲冑の歴史、日本の甲冑の部位と材料、日本における製鉄と製品、先行研究、目的について述べた。第 2 章では、まず、鎧に用いられた鉄鋼材料の素材となる「和鉄」について調べた。たたら製鉄により製造した「和鉄」を用いてモノを作る場合、「折返し鍛錬」や「積沸かし鍛錬」などの鍛接作業が不可欠である。そこで、鍛接作業中に発生する「沸き花」が和鉄を鍛接する際の指標となることに着目し、和鉄の鍛接機構とそれに伴って生じる和鉄の特徴について明らかにする。3 章では、本研究で用いた鎧試料について、外観と形式について詳細に説明する。4 章では鎧試料のうち、まず草摺に用いられた小札鋼板について金属組織学的調査を行い、材料と製作方法について明らかにする。5 章では、4 章の結果をふまえ、籠手、袖、肩上に用いられた鋼板について金属組織学的調査を行い、使用材料と製作方法の部位による特徴を明らかにする。一方 6 章では、鎖鋼線について、金属組織学的調査を行い、使用材料と製作方法について明らかにする。7 章では、黒色塗料により加飾された鎧鋼板について加飾方法を明らかにし、鋼板に対する加飾と防食効果について検討する。第 8 章では、以上の結果を総合し、鎧の部位である草摺、籠手、肩、袖、

鎖帷子に使われている鋼板または鋼線の使用材料および製作方法をまとめる。

文献

- 1) 宇田川 武久. 甲冑着用の次第と甲冑の変遷. 日本の美術. 至文堂, 東京, 1994, 340, pp.86-98.
- 2) 山上 八郎. 日本甲冑の新研究. 飯倉書店, 東京, 1942.
- 3) 笹間 良彦. 日本の甲冑武具事典. 柏書房, 東京, 1981.
- 4) 俵 國一. 日本刀の科学的研究. 日立評論社, 東京, 1953.
- 5) 山岸 素夫, 宮崎 眞澄. 日本甲冑の基礎知識. 雄山閣, 東京, 1990.
- 6) 松井 良祐. 幕末甲冑師明珍派の流派形成と甲冑師の実態—「明珍宗周日記」から. 立命館文學. 1995, 542, pp.723-735.
- 7) 宮崎 隆旨. 奈良甲冑師の研究. 吉川公文館, 東京, 2010.
- 8) 津野 仁. 小札の製作について-武具生産の一齣-. 財団法人とちぎ生涯学習文化財団埋蔵文化財センター 研究紀要. 2002, 10, pp.51-77.
- 9) 佐々木 稔. 日本刀と大鎧の成立過程--金属考古学的立場からの考察 (特集 戦争の中世社会史). 歴史学研究. 1999, 730, pp.35-44.
- 10) 宇野 伝三, 香取 三郎. 甲冑に関する研究 (第一報). 日本学術協会報告. 1937, 12, pp.46-50.
- 11) 金山 順雄. 甲冑小札研究ノート. 東京, リーボック, 2006.

第2章 和鉄の鍛接方法

一炎中の火花「沸き花」発生を鍛接開始の指標とする和鉄鍛接機構

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

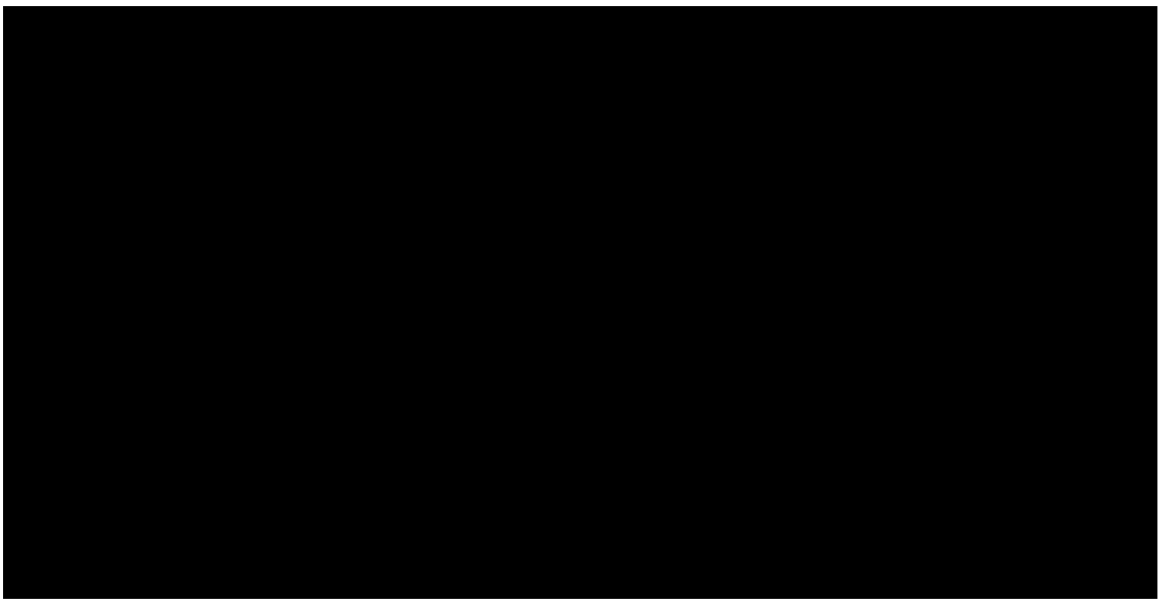
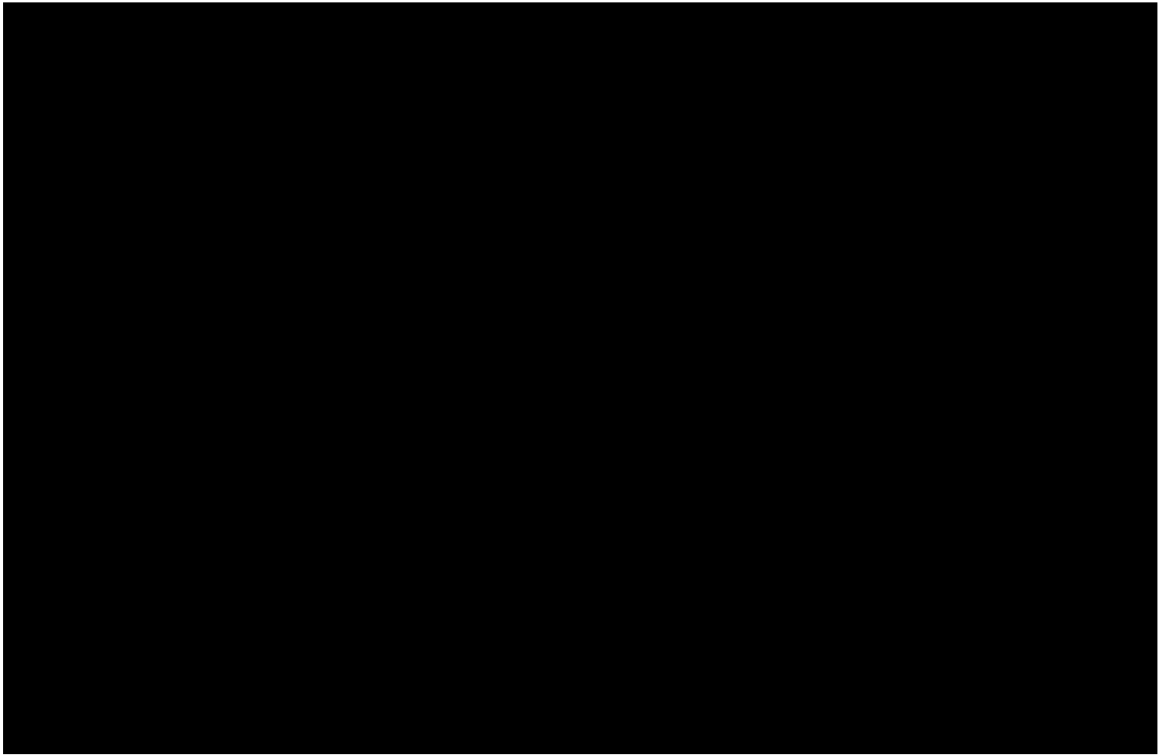
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

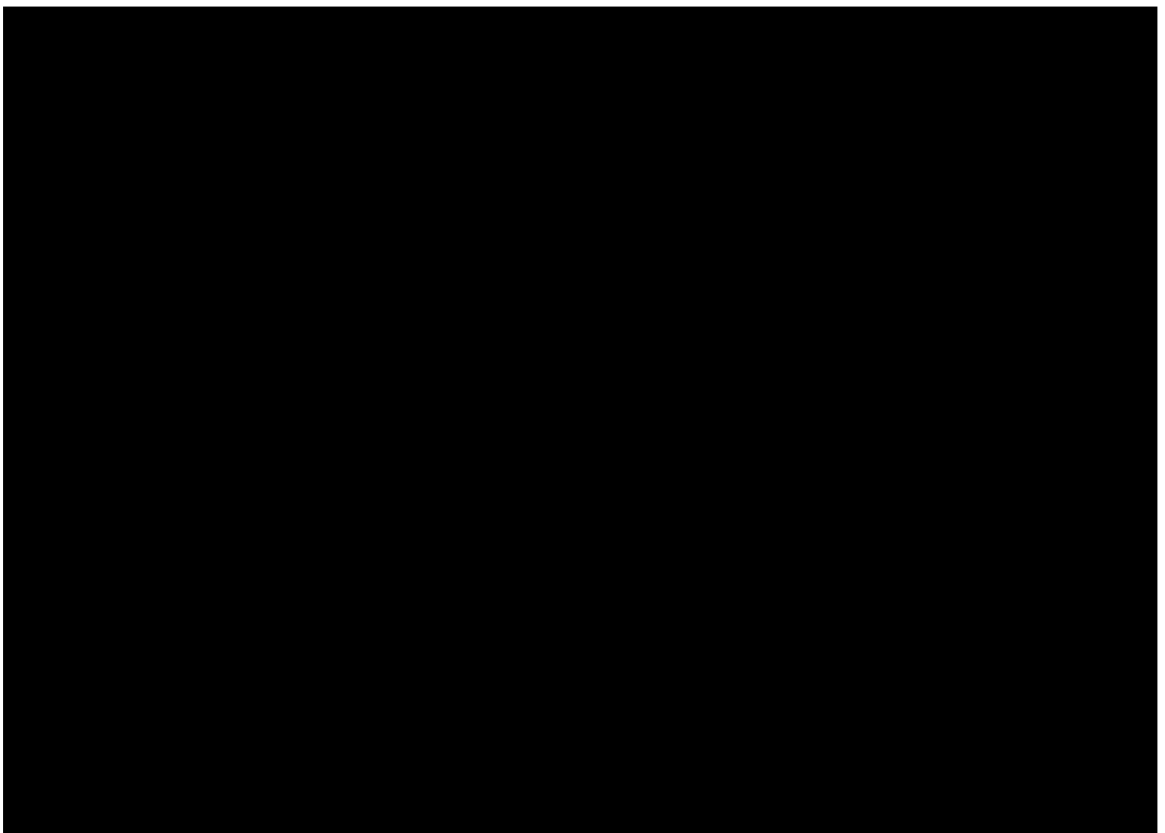
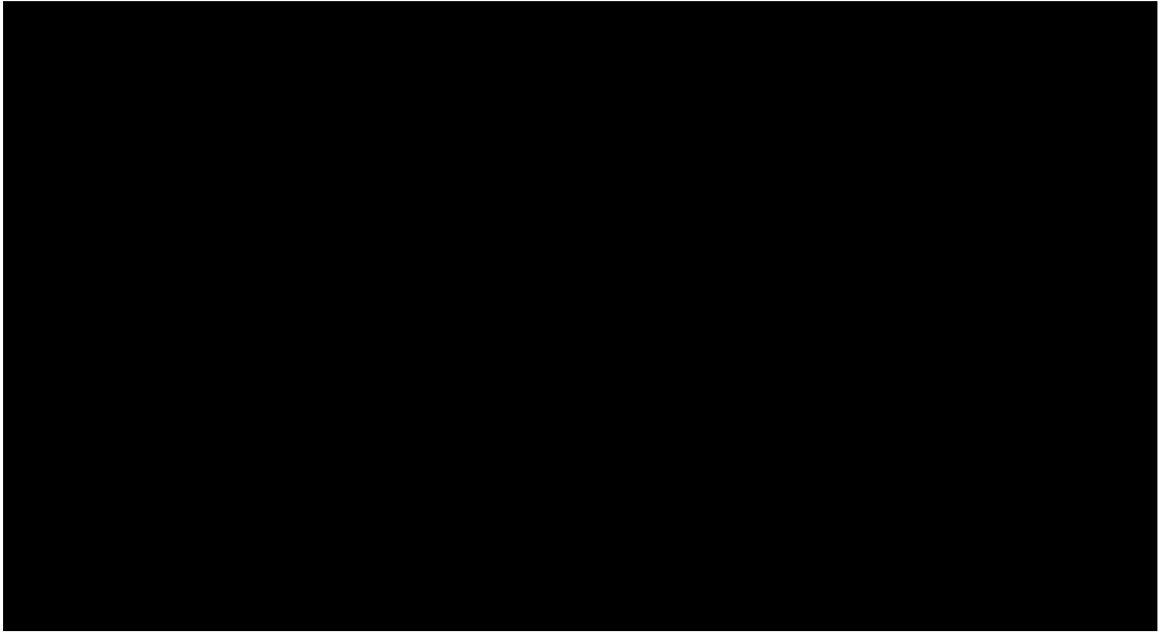
[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

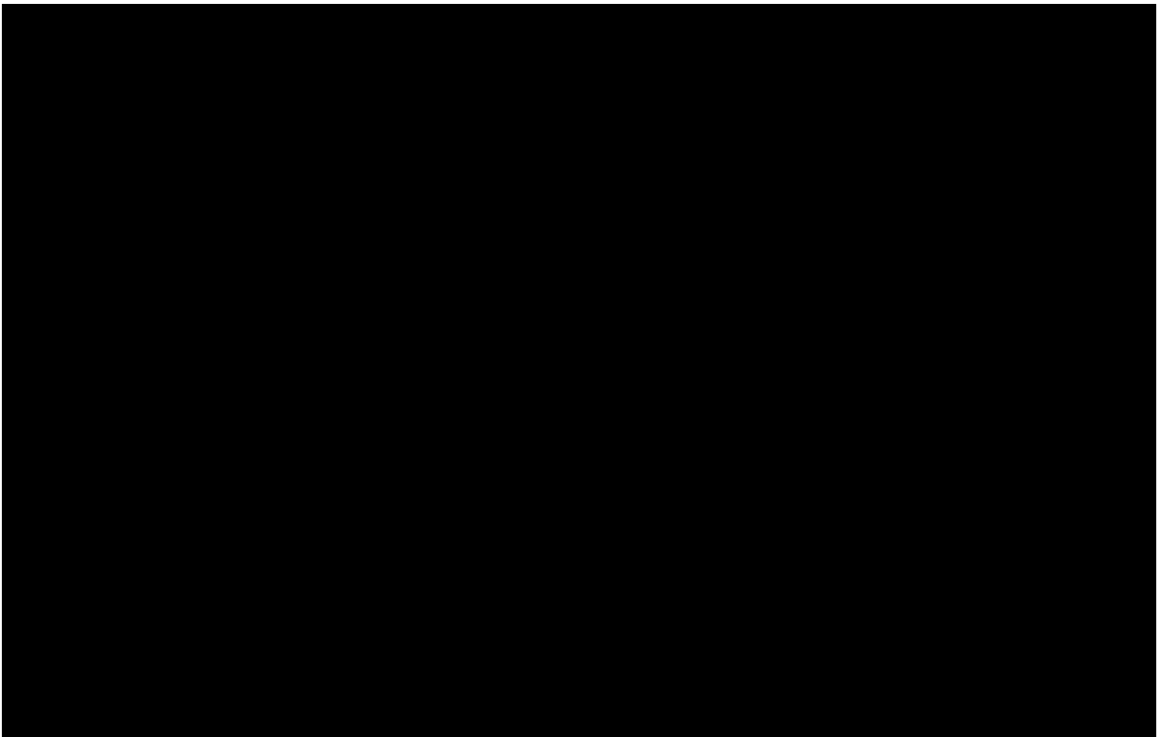
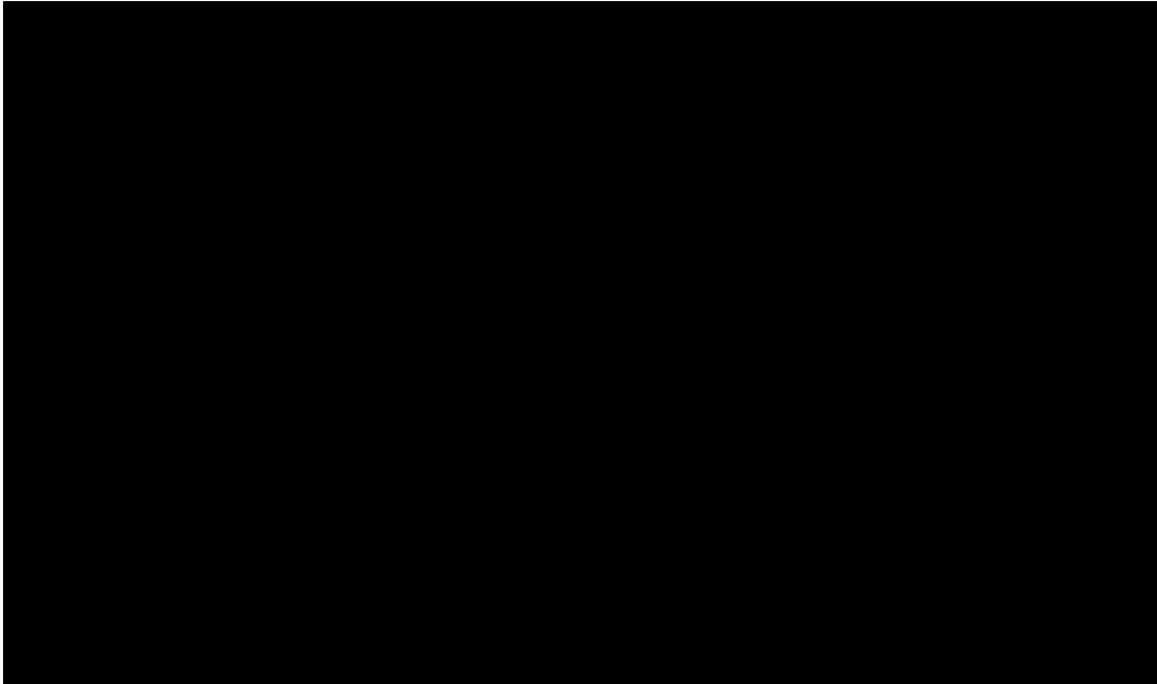
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

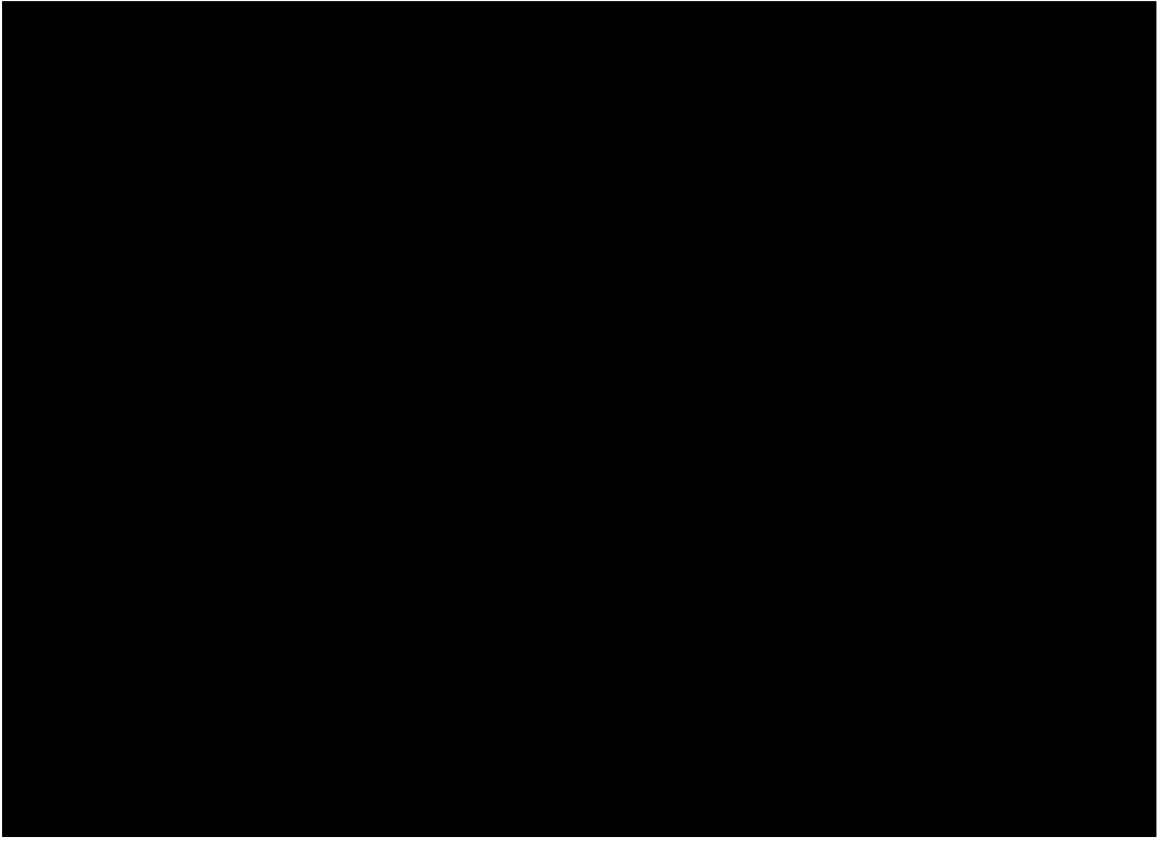
[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]						

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

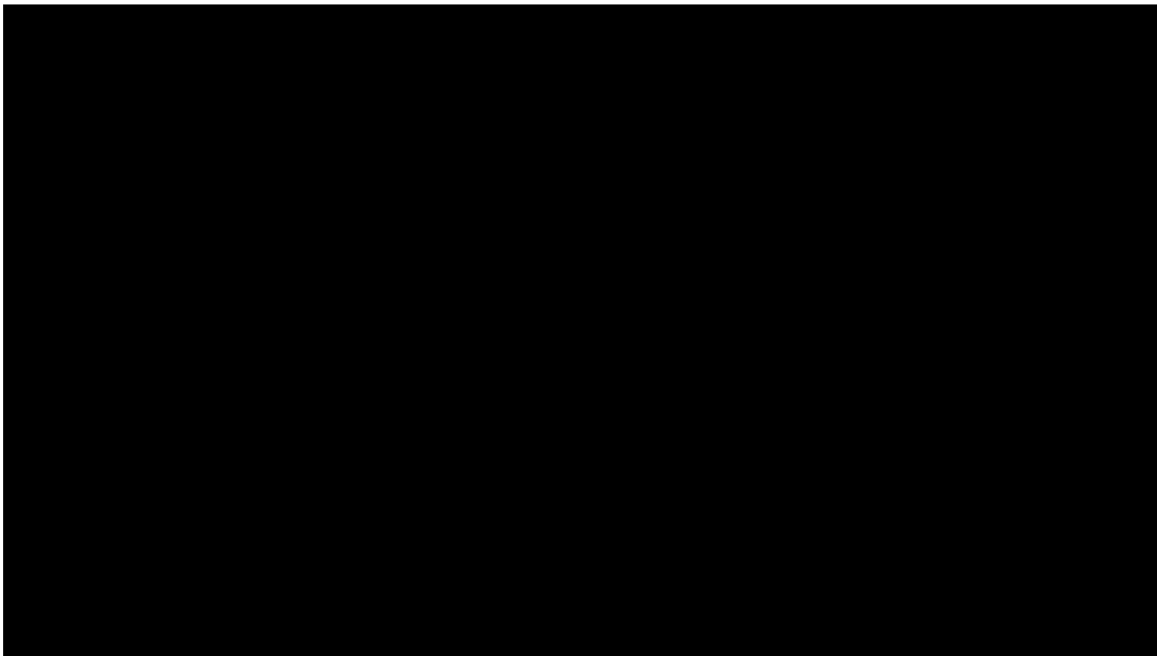
[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted]

[Redacted]								
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

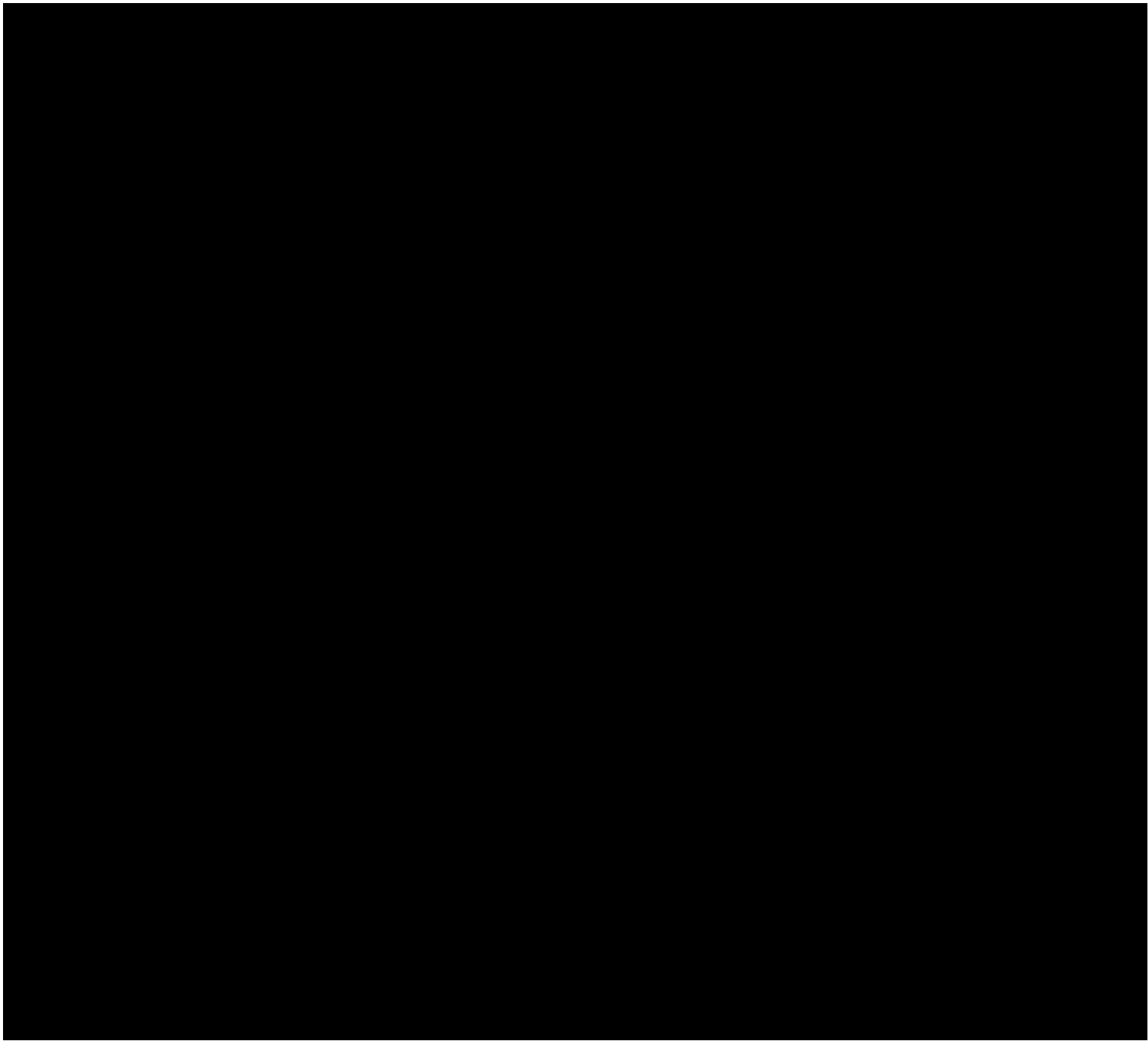
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

第3章 本研究で用いた室町時代末期から江戸時代の鎧試料

3.1 本研究で用いた鎧試料とその位置づけ

本研究では、鎧に用いられた鉄鋼について用いられた材料や製作方法を明らかにするために、草摺（くさずり）、籠手（こて）、肩上（わたがみ）、袖（そで）（各北田正弘所蔵）および、鎖帷子（くさりかたびら）（明珍宗理所蔵）を対象とし研究を行った。これらは同一の甲冑からのものではない。いずれの鎧も、製作者である指す銘や所有者を指す紋などはなく、一般的な兵士が身に着けていた鎧であることが考えられる。また、製作年代に関する詳細な情報はわからないが、形式より判断するといずれも室町時代末期から江戸時代に主流となった鎧の特徴を備えている。

中でも、草摺、籠手、肩上、袖は当世具足の形式の特徴を示している。当世具足とは、「当世」は現代風の「具足」は鎧を備えるという意味が示し、一領の鎧が兜、胴、袖の三つ物と呼ばれる基本部位の鎧に加え、様々な小具足とともに成り立ち、体全体を隙間なく覆い隠すように構成される¹⁾。また、当世具足は室町時代から江戸時代にかけて現れた鎧の形式であり、それまでの騎射戦中心で使われていた大鎧とは対照的に、火縄銃や弓矢を中心とした大規模な歩兵集団による戦闘法に対応した実用性が高い鎧の形式である。

3.2 草摺

Fig.3.1 で示す草摺は、腰から大腿にわたる部位を守る鎧である。草摺の寸法は最大箇所
で縦 300mm、幅 265mm、重量は 383g である。草摺は小札（こざね）と呼ばれる鋼板 42
枚を鎖で繋ぎ合わせてできている。この形式の鎧は「カルタ」の形状をした金属片に由来

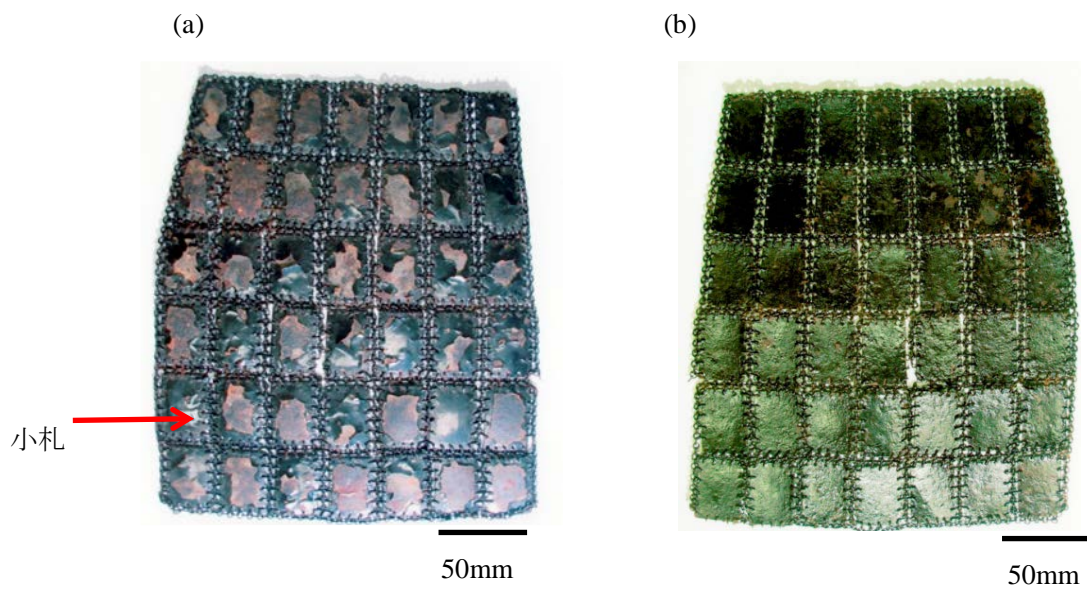


Fig.3.1 草摺の外観 (北田正弘所蔵) (a)表 (b)裏

して骨牌札鎧（かるたざねよろい）とも称される。鎖に可動性があり折り畳めることが特徴で畳具足とも呼ばれており、持ち運びも容易であるため緊急武装用に使われたとも考えられている²⁾。骨牌札の形式から、当世具足と判断される。Fig.3.1(b)には裏面を示す。

3.3 籠手

2種の籠手を Fig.3.2(籠手 No.1)と Fig.3.3(籠手 No.2)に示す。籠手は、肩から手先にかけて守る鎧の一部である。いずれも篠や小篠と呼ばれる短冊状の鋼板が使用されており、形式から当世具足の小篠籠手、篠籠手に属する。

籠手 No.1 を Fig.3.2(a)に示す。籠手 No.1 の寸法は最大の箇所縦 530mm、横 20mm で重さは 178.5g である。鋼板の小篠が 5 列 4 段に、さらに段の間に鋼線の鎖が、家地（いえぢ）と呼ばれる布に縫い付けられている。Fig.3.2(b)に裏面を示すが、籠手の家地は中央付近で紐で縫いつけられて、筒状になっている。

Fig.3.3(a)で示す籠手 No.2 は、親指と中指を通す為の紐である中指の縮（わな）、大指の縮の位置から、左手用である。寸法は最大の箇所縦 675mm、横 360mm で重さは 338.7g である。試料上部には鋼板の手甲が、その下に順次細長い鋼板の篠が 4 列、小篠が 5 列 3 段、そして下の紐の部分に鋼板の冠板と呼ばれる 4 種の鋼板が家地に縫い付けられている。鎖は各段の間に横 1 列に、及び篠と小篠の間の肘に当たる箇所には鎖を格子状に組んだ格子鎖が縫い付けてある。Fig.3.3(b)に示す裏面からは、黒い糸で鋼板を固定しているのが分かる。

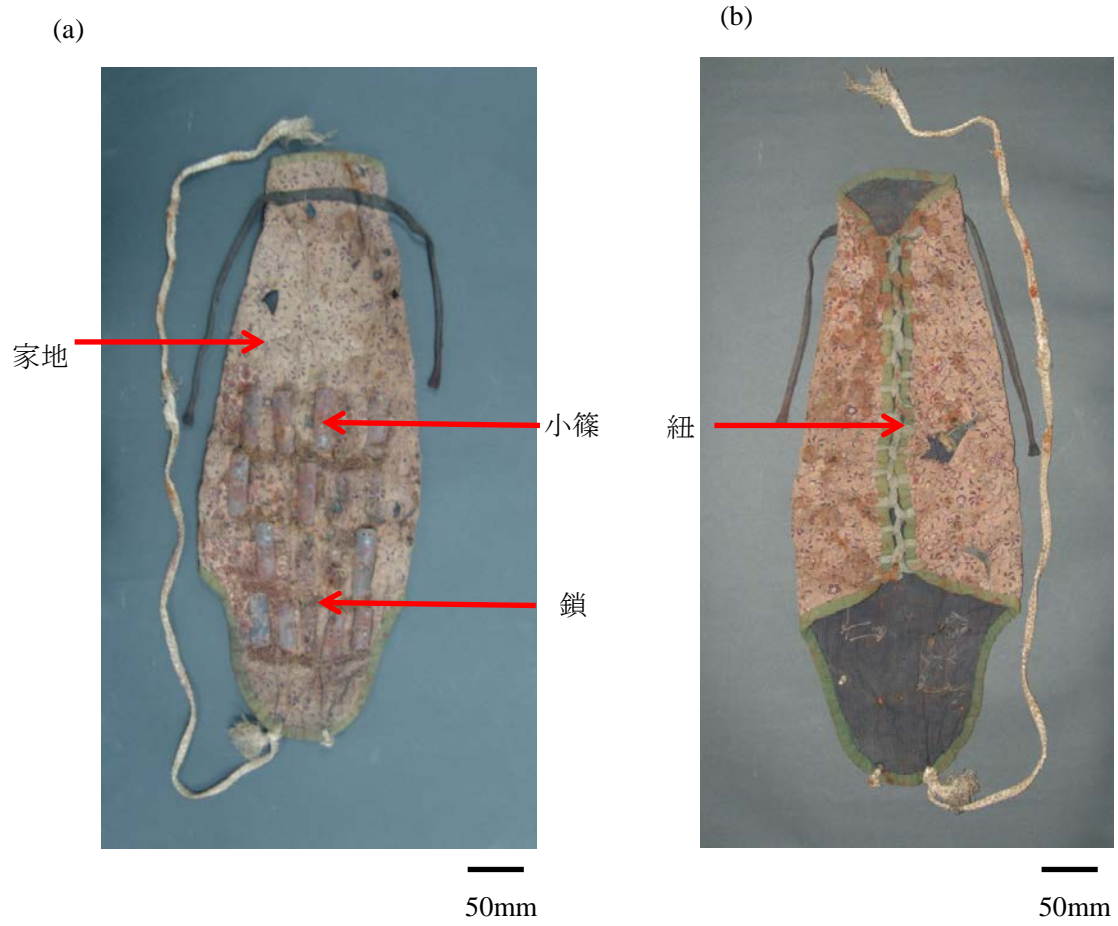


Fig.3.2 籠手 No.1 の外観 (北田正弘所蔵) (a)表 (b)裏

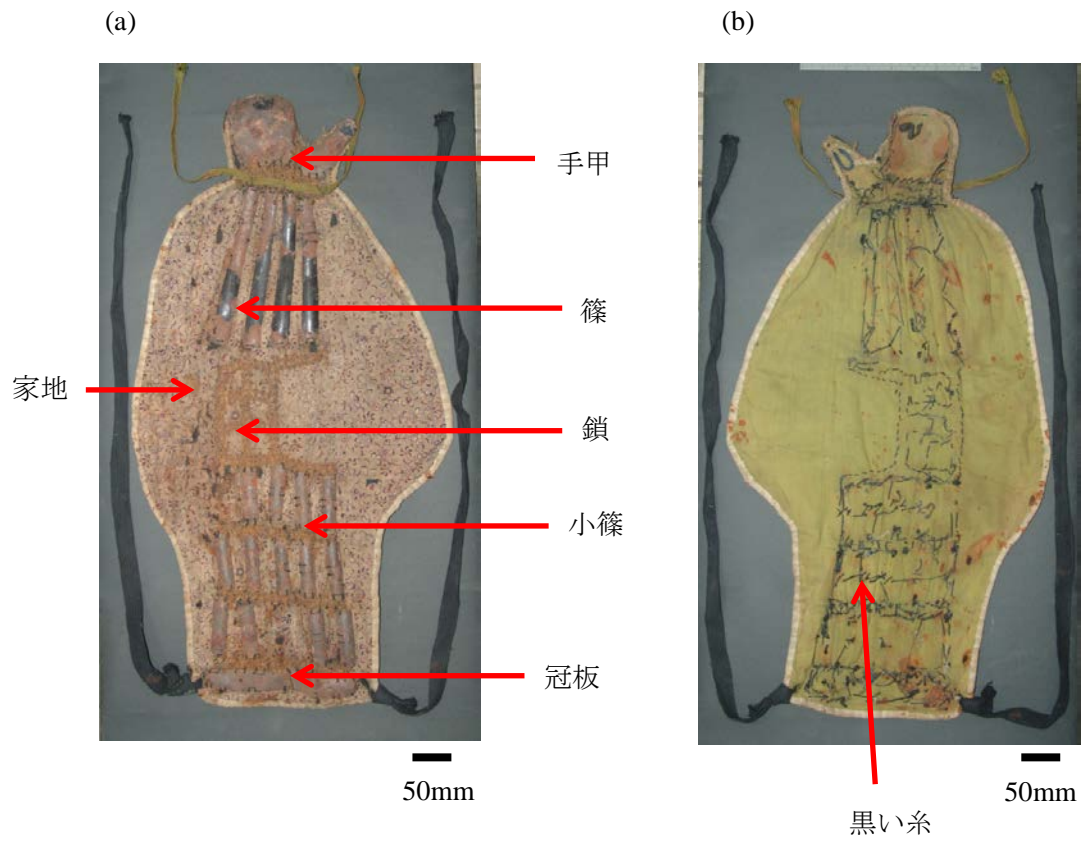


Fig.3.3 籠手 No.2 の外観 (北田正弘所蔵) (a)表 (b)裏

3.4 袖

Fig.3.4(a)で示す袖は肩を守る鎧である。本試料の大きさは縦約 15mm、横約 20mm である。重量は 223.1g である。袖は、横長の鋼板の湾曲した板札が縦に 5 段並べられ、紺色の紐で繫げられている。試料上部の板札は、冠板または矢止まりの板と呼ばれており、上端が直角に曲げられている。また、紐の連結方法を示す威し方は、素懸威し(すがけおどし)である。Fig.3.4(b)で示すように、上部 4 枚の板札の裏面には裏張の布がある。裏張りの布は 2 重になっており、約 1mm メッシュの布が内側に、その上に緑色の布で覆っている。板札、素懸威し、裏張の使用から当世具足である。

3.5 肩上

Fig.3.5(a)に示す肩上は肩から背中を守る鎧であり、体に合せ立体的な構造をしている。試料の寸法は横約 290mm、高さ 75mm である。重量は 446.8g である。肩上は計 6 枚の鋼板を組み合わせている。Fig.3.5(a)、(b)に示すように、正面部分には、三日月の板と呼ばれる半弧型の鋼板と横長の鋼板の 2 枚が使用されている。両肩部分には 2 枚の湾曲した鋼板を中空になるように上下合わせて鉸で留めている。また、他の部位と連結できるように肩部には 4 箇所 Fig.3.5(c)で示すような蝶番が付けられている。三日月板や蝶番の使用から肩上は当世具足と判断される。

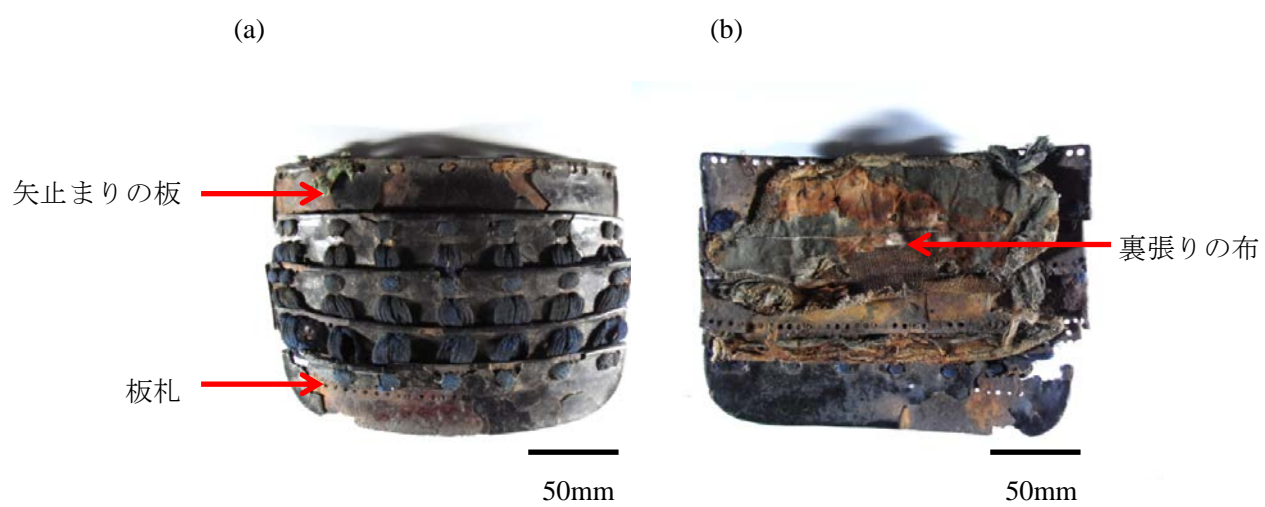


Fig.3.4 袖の外観 (北田正弘所蔵) (a)表 (b)裏

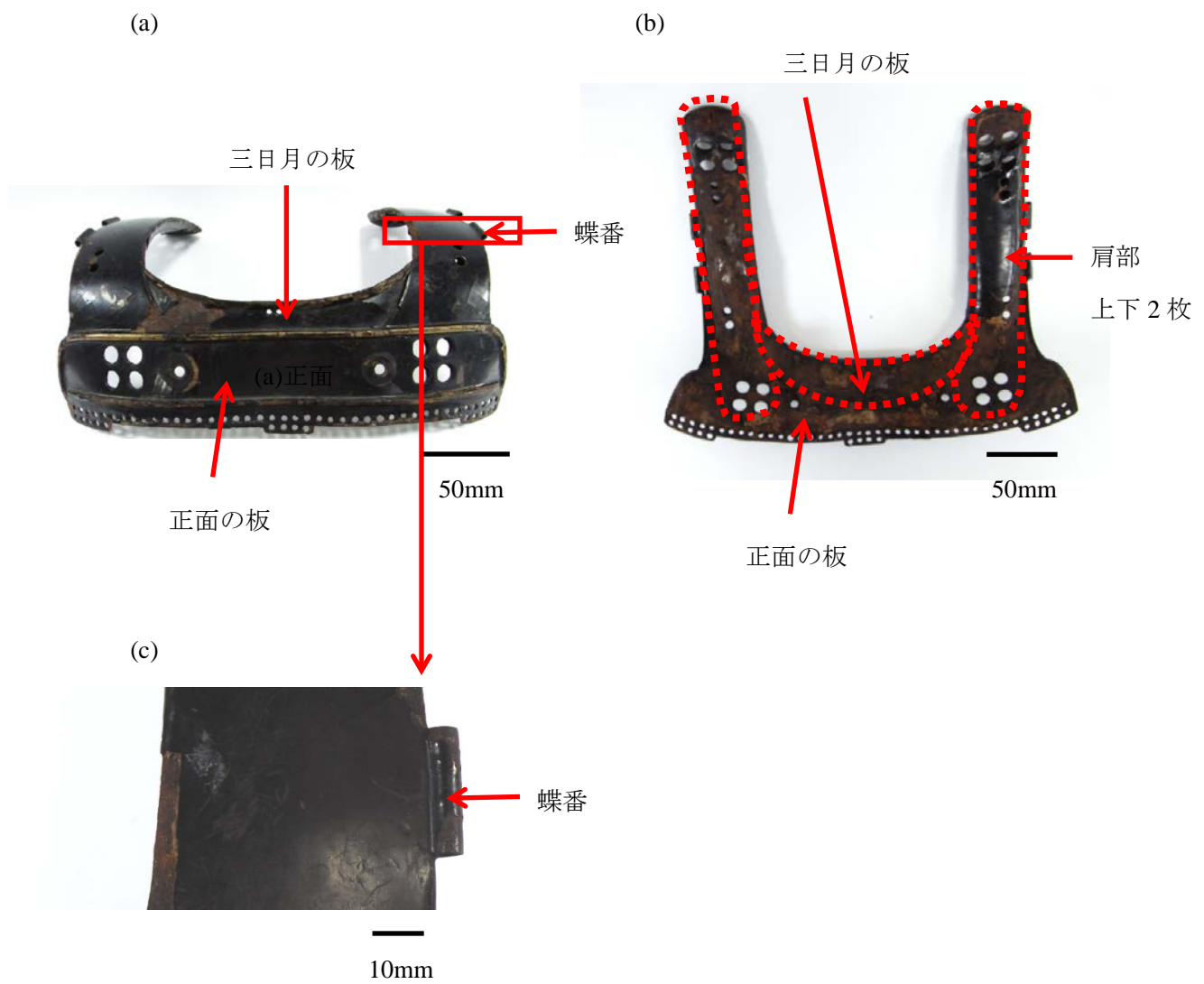


Fig.3.5 肩上の外観 (北田正弘所蔵) (a)表 (b)裏 (c)肩部上鋼板と蝶番

3.6 鎖帷子

Fig.3.6 で示すのは鎖帷子である。部位は判断できない。鎧の寸法は最大の箇所縦 215mm、横 195mm で重さは 131.3g である。Fig.3.4(b)で示すように円形の輪の喰合せのみからなり、一つの円形の輪に四つの円形の輪が組まれて作られた八重鎖である。八重鎖は、室町末期から現れた形式であり³⁾、西洋渡来の南蛮鎖と呼ばれる形式の一種である。

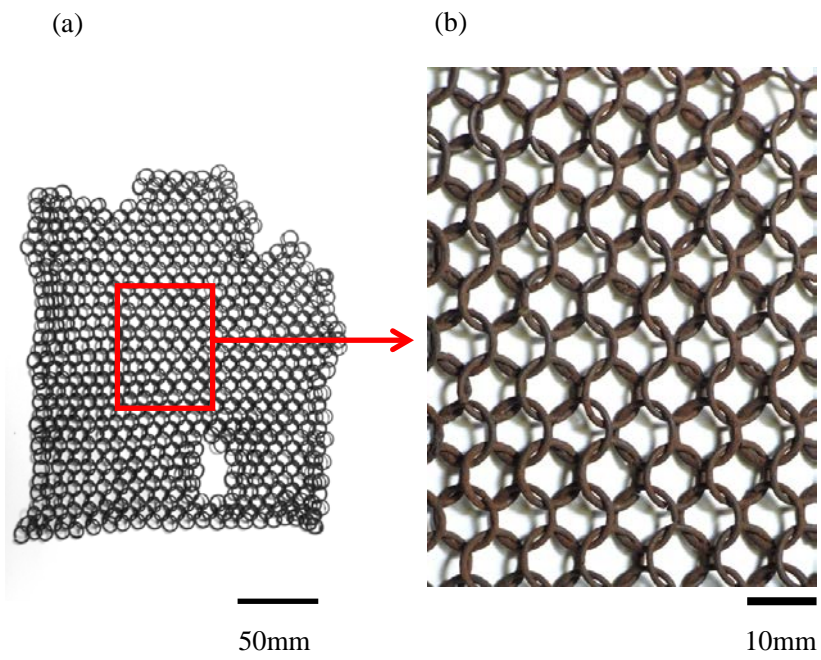


Fig.3.6 鎖帷子の外観 (明珍宗理所蔵) (a)全体像 (b)八重鎖の拡大像

文献

- 1) 宇田川 武久. 甲冑着用の次第と甲冑の変遷. 日本の美術. 至文堂, 東京, 1994, 340,
pp. 86-98.
- 2) 笹間 良彦. 日本の甲冑武具事典. 柏書房, 東京, 1981.
- 3) 山岸 素夫, 宮崎 眞澄. 日本甲冑の基礎知識. 雄山閣, 東京, 1990.

第4章 草摺小札の鋼板製作方法

4.1 緒言

鎧に用いられた鋼板の材料科学的研究では、前述のように金属組織から材料や製作方法、特に合わせ鍛えに関する考察はあるものの、鋼板の一連の製作方法に関する詳細な検討はなされておらず、鎧に用いられた鋼板の材料科学的特徴や製作方法に関しては未だ不明な点が多い。そこで2章では、まず鎧に用いられた鉄鋼材料の素材となる和鉄について、鍛冶工程中に発生する「沸き花」が和鉄を鍛接する際の指標となることに着目し、和鉄の鍛接機構を明らかにした。鍛冶実験の結果、まず和鉄を鍛接する為に表面に塗布した藁灰と泥から、ノロが生成する。また、和鉄の鍛接面で Fe が燃焼することにより 1470℃に上昇し、和鉄表面が溶解するとともに「沸き花」が発生する。その状態のとき、鍛造することにより和鉄は接合される。この際、FeO のノロは鍛造により絞り出されるが、一部は非金属介在物として和鉄の鍛接面に線状に残留するという、和鉄の特徴も明らかになった。

本章では、この結果を踏まえ、和鉄を素材とし、鎧鋼板がどのように製作されたかを明らかにする。4章ではまず、草摺に用いられた鋼板を研究対象とした。

4.2 実験

4.2.1 試料

草摺試料(北田正弘所蔵)の外観像を Fig.4.1 に示す。Fig.4.1(a)に全体像を示す。Fig.4.1(b)に示すように、草摺は、鋼板が鎖で繋ぎ合わされている。草摺は、小札（こざね）と呼ばれる四角い札状の鋼板が縦6段、横7列に42枚が配置され、鋼線の鎖で繋ぎ合わされてい

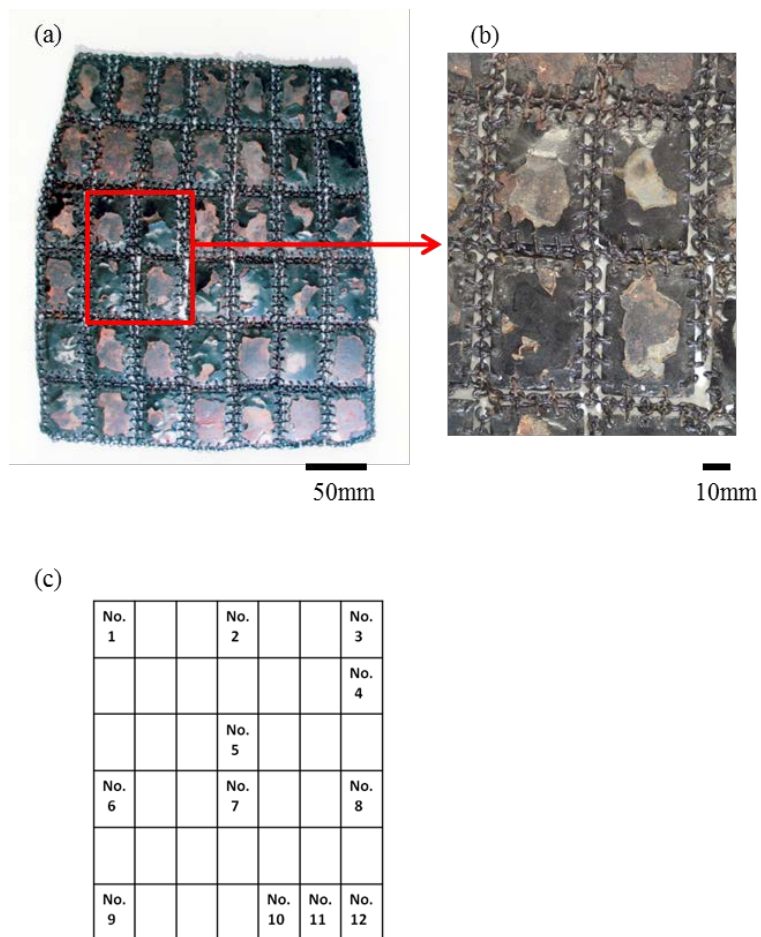


Fig.4.1 草摺の外観と小札鋼板 (北田正弘所蔵)

(a)草摺 (b)小札鋼板 (c)小札鋼板の試料採取箇所.

る。試料全体の寸法は縦 300mm、横 235~265mm である。試料の上部の幅が狭く下部の幅が広い草摺に特徴的な形状である。Table 4.1 に小札鋼板の形状の測定結果を示す。小札鋼板の寸法は縦 43~45mm、横 25~31mm であり、地金の最大厚さは 0.6~1.0mm である。小札鋼板の大きさは配置場所により異なり、上部に配置されている鋼板は小さく下部に配置されている鋼板は大きい。また、小札鋼板は体に固定しやすいように曲面となっており、曲率半径は 1.7~15.3m である。小札鋼板の周囲には鎖を通すため、約 1mm の孔が空けられているが、孔の数は 16~18 個である。草摺試料の表面、裏面は黒色の樹脂状の塗料で覆われており、特に表面での剥落が見られる。剥離した面では、錆が発生している。本研究では、42 枚の小札鋼板の内、周辺及び中央から 12 枚を選択し試料断面の観察を行った。選択した小札鋼板の位置を Fig.4.1(c)で示す。

4.2.2 比較試料鋼板の作製

小札鋼板の製作方法を推定するため、比較試料鋼板を作製した。原料には、日本美術刀剣保存協会の玉鋼 2 級品と和釘から製造した和鉄の炭素濃度の異なる 2 種の鋼を用いた。比較試料鋼板の炭素濃度は、玉鋼試料が平均 0.85mass% で和釘試料が平均 0.03mass% であった。

先ず手子棒の端の鉄皿の上に大きさ 2、3cm 玉鋼の塊を乗せ、ホウ砂を少しかけて鍛冶炉にいれ、木炭を燃焼させて温度を上げる。鉄皿は玉鋼と同程度の炭素濃度の板である。1 時間ほどで炎の中に白い細かい「沸き花」と呼ぶ火花が発生し始めたら、炉から取り出し、藁灰をかけて鍛造する。最初は軽く鍛造し、再度炉中に入れて沸き花を合図に取り出

Table 4.1 小札鋼板の寸法、地金厚さ、曲率、孔の数

試料	寸法			地金の 最大厚さ (mm)	曲率半径 (m)	孔の数
	長さ (mm)	幅				
		上端 (mm)	下端 (mm)			
小札鋼板 1	44	25	28	0.6	8.7	16
2	44	25	28	0.8	6.5	16
3	44	25	28	0.8	6.3	16
4	45	28	29	0.9	7.7	17
5	44-45	29	30	1.0	3.1	18
6	44	31	33	0.6	1.7	18
7	44	29	31	0.8	2.6	17
8	45	31	32	0.9	9.6	18
9	43-44	31	31	0.8	7.1	18
10	43-44	31	31	0.8	5.4	18
11	44	31	31	0.8	2.1	18
12	44	31	31	0.9	15.3	18

して鍛造し、一気に矩形に造形する。この工程を「積沸し鍛錬」と呼ぶ。鋼材表面がまだ黄色を呈する 800℃程度になった時、中心部分に鑿で切れ目を入れ、半分に折る。これを藁灰で塗り、泥を掛けて炉に入れ加熱する。沸き花の発生を合図に鍛接を行う。これを「折返し鍛錬」と呼ぶ。たたら製鉄や鍛冶工程で製造された鋼は炭素濃度が不均質であるので¹⁾、折返し鍛錬によりある程度均質になるように調整する。本研究では、玉鋼試料の折返し鍛錬を 2 回行った。和釘試料も積沸し鍛錬の後、折返し鍛錬を 3 回行った。和釘と玉鋼から製造した矩形の材料を重ね合わせ、藁灰と泥を塗って鍛接し、板状に伸ばし、試料を作製した。これらの板材の大きさは、縦 85mm、横 55mm、地金厚さ約 1mm である。

4.2.3 実験方法

小札鋼板及び比較試料鋼板より断面試料を切り出し、樹脂に包埋した後、バフで鏡面研磨を行った。各試料を、2~5%ナイトール液で処理し、金属組織観察用試料とした。金属組織観察には、光学顕微鏡(NIKON、ECLIPSE LV100POL)および走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscopy: SEM) (日立製作所、S2460)を用いた。炭素濃度は、炭素濃度が既知の鉄鋼材料の標準組織²⁾との比較により推定した。平均炭素濃度は燃焼法(LECO、CS-444LS)により測定した。非金属介在物の組成は SEM に付属するエネルギー分散型 X 線分析装置(HORIBA、EMAX ENERGY EX-250)により測定した。また、硬さはマイクロビッカース硬度計(島津製作所、NT-M001)で測定した

4.3 実験結果

4.3.1 小札鋼板

4.3.1.1 小札鋼板の炭素濃度

Table 4.2 に 12 枚の小札鋼板の炭素濃度を調べた結果を示す。小札鋼板の炭素濃度は鋼板により異なり、各鋼板の最小炭素濃度は最小値が 0.1mass% 以下、最大値が 0.6mass% と推定される範囲で観察される。また、最大炭素濃度は 0.1mass% から 0.8mass% と推定される範囲で観察される。小札鋼板は 2 種に大別され、1 種の炭素濃度からなる試料と異なる複数の炭素濃度からなる試料がある。以下、代表的な小札鋼板について金属組織を示しながら述べる。

Fig.4.2 に 1 種の炭素濃度からなる試料の代表例を示す。Fig.4.2(a) に小札 No.9 の短手方向断面の全体像を示す。小札鋼板は全体が湾曲しており、左端の形状は丸い。一方、小札鋼板の右端では上下に裂けた形状をしている。小札鋼板の A の部分の金属組織を Fig.4.2(b) で示す。鋼板中央から下部の SEM 像を Fig.4.2(c) で示すが、金属組織は主にフェライトである。炭素濃度は、標準組織との比較から 0.1mass% 以下と推定され、小札鋼板は 1 種の炭素濃度で構成されている。結晶粒径は 10~210 μm である。また試料下部の表面近傍では、結晶粒が微細で 10 μm 程度である。

Fig.4.3 に、炭素濃度の異なる複数の鋼からなる試料の代表例を示す。小札 No.1 の短手方向に切断した小札鋼板中央の断面の金属組織は、Fig.4.3(a) で示すように、試料上部(鋼板表面側)と試料下部(鋼板裏面側)で異なる。Fig.4.3(b) で試料上部の金属組織を示すが、試料上部はフェライトとパーライトからなる。炭素濃度は 0.3mass% と推定される。結晶粒径は

Table 4.2 小札鋼板の炭素濃度、炭素濃度による層数、非金属介在物による線の最大本数

試料	炭素濃度 (mass%)		異なる炭素濃度による層数	組織中に観察される非金属介在物		
	最大	最小		組織	炭素濃度 (mass%)	非金属介在物の最大本数
小札鋼板 1	<0.1	0.4	1-3	ferrite + pearlite	0.2	1
				ferrite	<0.1	1
				ferrite + pearlite	0.2	-
2	0.6	0.8	1 (一部 2)	ferrite + pearlite	0.7	4
3	<0.1	0.6	1-2	ferrite	<0.1	4
				ferrite + pearlite	0.1	1
4	0.2	0.7	2-3	ferrite + pearlite	0.4	1
				ferrite + pearlite	0.6	1
				ferrite + pearlite	0.2	-
5	0.3	0.8	1-2	ferrite + pearlite	0.7	4
				pearlite	0.8	1
6	0.4	0.8	1-2	pearlite	0.8	1
				ferrite + pearlite	0.5	1
7	0.1	0.8	2-3	ferrite + pearlite	0.5	1
				ferrite + pearlite	0.1	-
				ferrite + pearlite	0.2	1
8	<0.1	0.1	1 (一部 2)	ferrite	<0.1	3
9	<0.1	0.1	1 (一部 2)	ferrite	<0.1	1
10	0.1	0.6	2-3	ferrite + pearlite	0.1	1
				ferrite + pearlite	0.6	-
				ferrite	<0.1	1
11	0.2	0.7	2-4	ferrite + pearlite	0.1	-
				ferrite + pearlite	0.4	-
				ferrite + pearlite	0.7	-
				ferrite + pearlite	0.2	-
12	0.1	0.7	2-5	ferrite + pearlite	0.1	1
				pearlite	0.8	1
				ferrite + pearlite	0.4	-
				ferrite + pearlite	0.7	1
				ferrite + pearlite	0.5	-

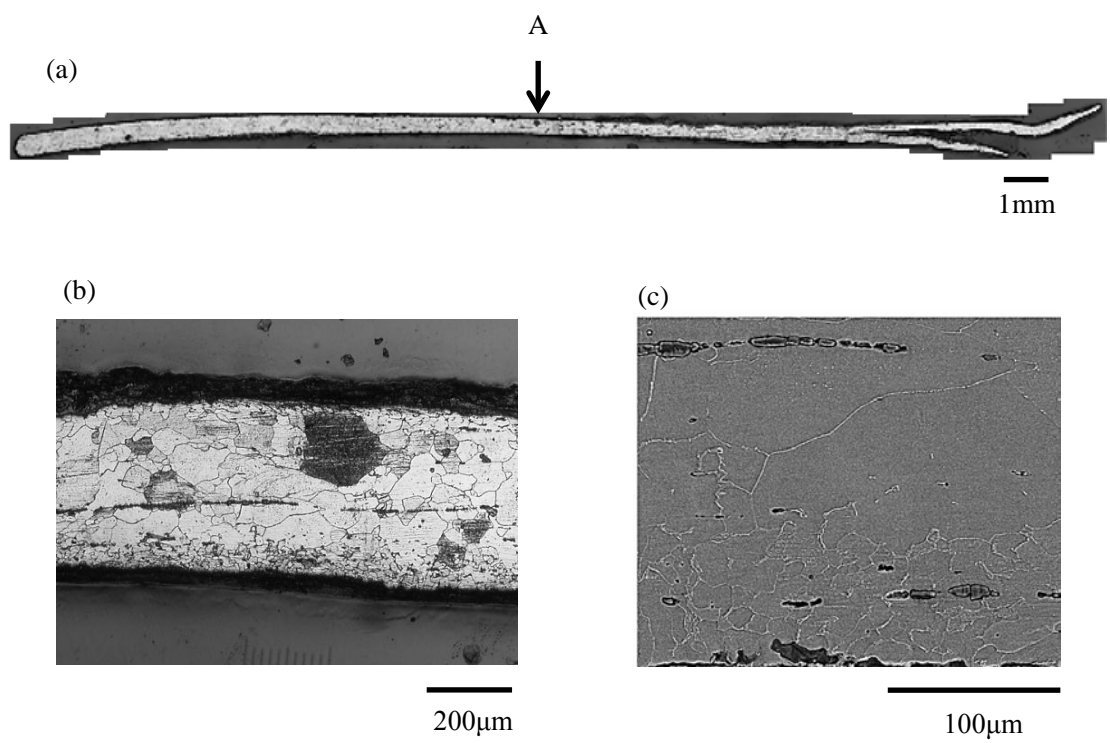


Fig.4.2 小札鋼板(No.9) (1層の炭素濃度からなる)

(a)鋼板断面の全体像

(b)A 付近の断面像 (矢印は線状に分布した非金属介在物を示す)

(c)(b)の金属組織

5~30 μm である。一方、Fig.4.3(c)で示すように板下部(鋼板裏側)の金属組織は主にフェライトであり、炭素濃度は 0.1mass%以下と推定される。結晶粒径は 10~150 μm である。このような鋼板を 2 層とする。小札 No.1 は、先述した小札 No.9 と異なり、一枚の鋼板が、異なる複数の炭素濃度の鋼から構成されている。

小札鋼板には観察場所により金属組織が異なる試料もある。Fig.4.4(a)に小札 No.11 の短手方向に切断した断面の全体像を示す。A で示す部分の金属組織を Fig.4.4(b)で示す。鋼板の炭素濃度は、試料上部から順に 0.2mass%、0.7mass%、0.4mass%と推定される 3 層からなる。一方、B の部分の金属組織を Fig.4.4(c)で示すが、炭素濃度は試料上部の 0.7mass%、下部が 0.3mass%と推定される 2 層からなる。また Fig.4.4(d)で示す C においても金属組織は変化しており、試料の上部より炭素濃度が 0.1mass%、0.4mass%、0.7mass%、0.2mass%と推定される 4 層が観察され、一枚の鋼板中で観察位置により金属組織が変化する。以上のように、炭素濃度による層数を調べた結果を Table 4.2 に示すが、小札鋼板には炭素濃度により 1 層から 5 層が観察され、1 種の炭素濃度からなる試料や、異なる複数の炭素濃度により積層している試料がある。

4.3.1.2 小札鋼板の非金属介在物の分布、組成と形状

Fig.4.2(b)や Fig.4.3(a)の矢印は非金属介在物である。非金属介在物は小札鋼板中に観察されるが、主に板面に対して平行に線状に並んでいる。小札鋼板中に観察される非金属介在物の分布には 2 種ある。Fig.4.5 に小札 No.11 に見られる非金属介在物を代表的な例として示す。Fig.4.5(a)の全体像で示す A や C の箇所では、Fig.4.5(b)や (d)で示すように、非金

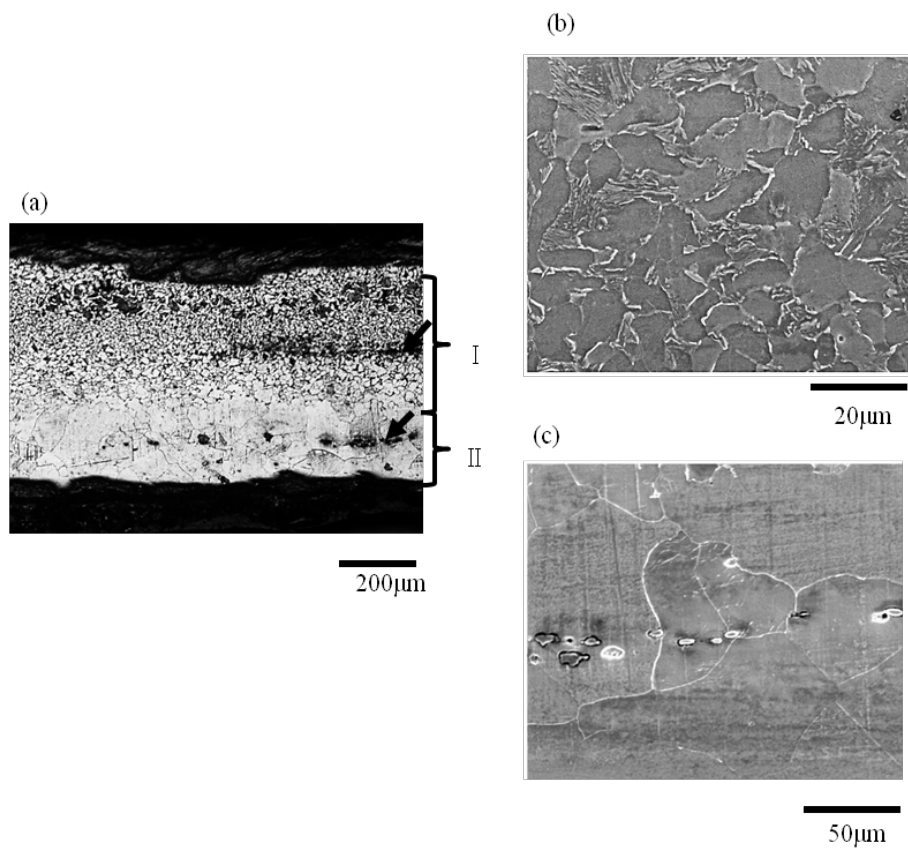


Fig.4.3 小札鋼板(No.1) (異なる2層の炭素濃度からなる)

(a)鋼板の断面像 (矢印は線状に分布した非金属介在物を示す)

(b)試料上部のフェライト+パーライトからなる金属組織

(c)試料下部のフェライトからなる金属組織

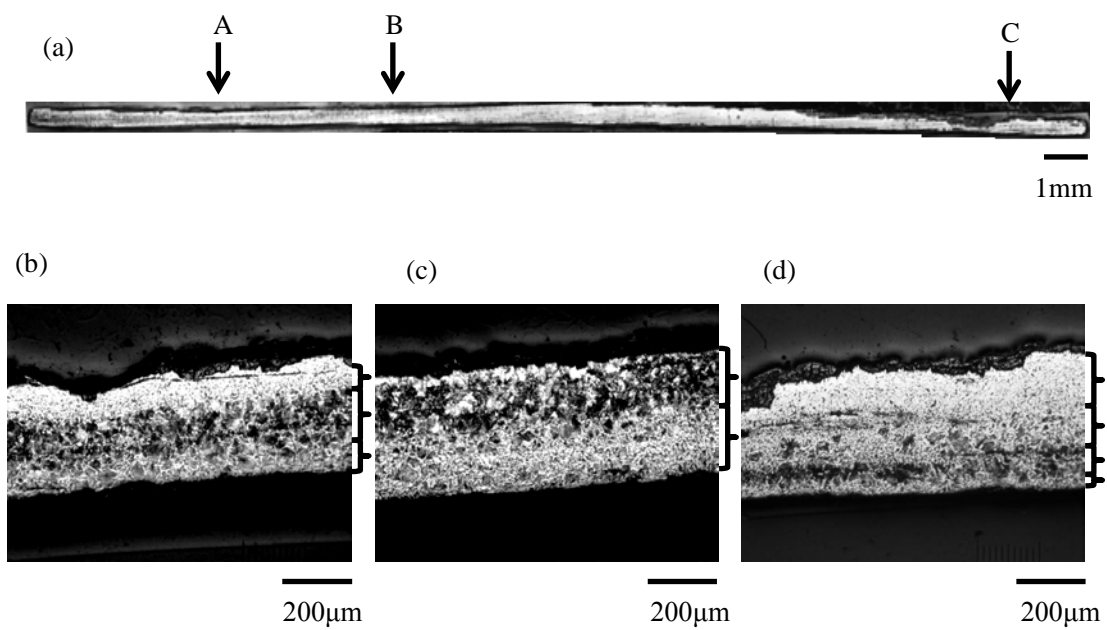


Fig.4.4 小札鋼板(No.11) (異なる複数の炭素濃度の層からなる)

(a)鋼板断面の全体像

(b)A 付近の断面像

(c)B 付近の断面像

(d)C 付近の断面像

属介在物は多くが小札鋼板の板面に平行に線状に伸びた非金属介在物や丸い粒子が線状に連続的に分布しているものである。また Fig.4.5(a)の全体像の B で示す箇所では、Fig.4.5(c)に示すように、鋼板中にランダムに分布しているものが一部に観察される。また、これらの非金属介在物の組成を調べると、非金属介在物は組成により 3 種に大別される。EDS では軽元素の測定が不可能なため、C、O を除く元素に関して、小札 No.11 で観察される非金属介在物の組成を調べた結果を Table 4.3 に示す。線状にのびた非金属介在物には Fe を主成分とするものや、Fe や Si を主成分とするものがある。他の鉄鋼文化財の非金属介在物の分析例^{3),4)}を参考にすると、これらは組成よりウスタイト(FeO)やファイヤライト($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$)と考えられる。また中には、Si の含有量が多いものが存在する。一方、ランダムに分布した非金属介在物は、Fe と Si を主成分とした非金属介在物である。これらの組成の非金属介在物が鋼板中に存在する割合は観察する小札鋼板により異なる。また、非金属介在物には、K が検出されるものが存在する。

また、小札 No.1 の長手方向断面に切断した小札鋼板と短手方向断面に切断した小札鋼板の非金属介在物の形状を比較した。Fig.4.6 に金属組織を示す。Fig.4.6 の図中矢印は、鋼板中同一線上に配列する非金属介在物を示すが、非金属介在物の形状に着目すると、Fig.4.6(a)の長手断面より Fig.4.6(b)の短手方向断面のほうが平らに伸ばされているように見える。

4.3.2 比較試料鋼板

4.3.2.1 比較試料鋼板の炭素濃度

炭素濃度の異なった和釘試料と玉鋼試料を上下にはりあわせ鍛造した比較試料鋼板の

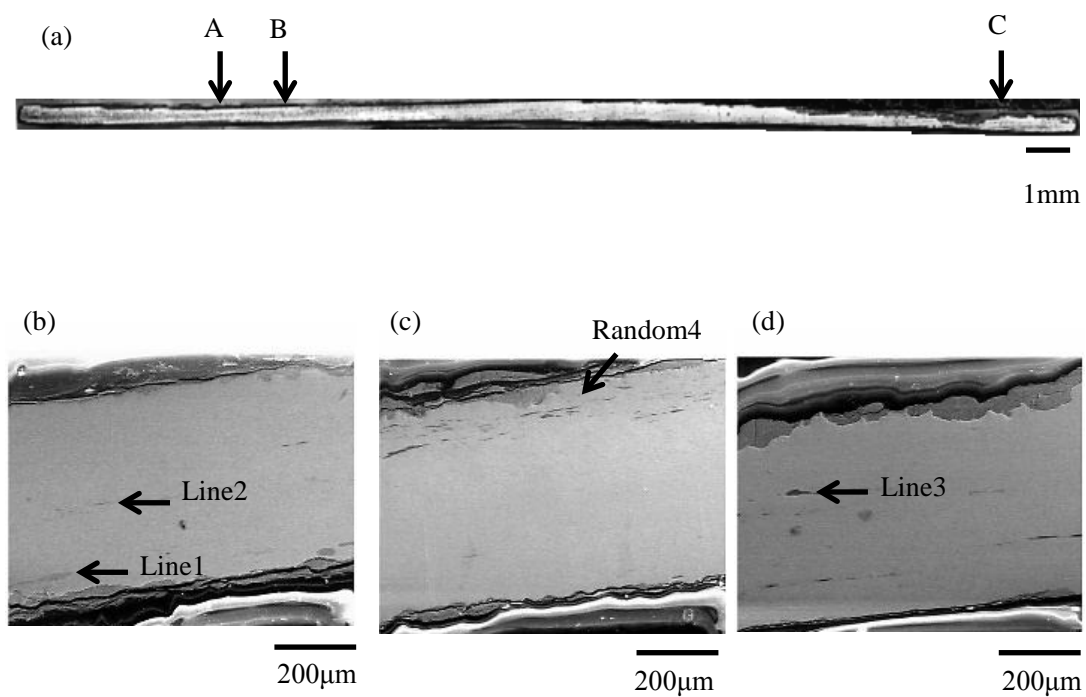


Fig.4.5 小札鋼板(No.11)の非金属介在物の分布

(a)鋼板断面の全体像

(b)A 付近では線状に分布(Line 1,2)

(c)B 付近ではランダムに分布(Random 4)

(d)C 付近では線状に分布 (Line3)

Table 4.3 小札鋼板(No.11) にみられる非金属介在物の組成 (mass%)

分析箇所	組成								
	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Line1	-	0.9	0.4	0.4	-	-	-	-	98.3
Line2	0.9	1.3	4.9	19.7	2.5	5.5	1.0	0.3	63.9
Line3	1.2	3.6	10.7	45.8	6.8	20.8	3.3	0.7	7.0
Random4	1.3	2.3	8.6	36.7	3.7	7.9	1.3	0.2	37.8

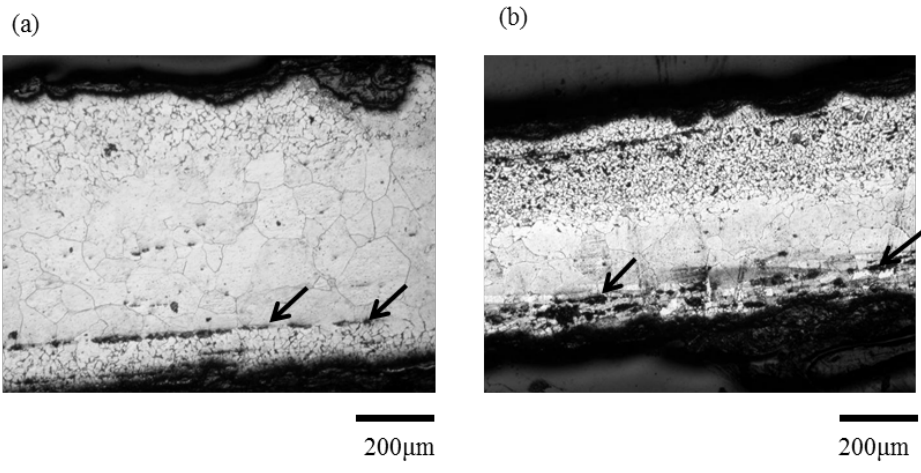


Fig.4.6 非金属介在物の断面方向による形状の違い

(a)鋼板長手方向 (b)鋼板短手方向 (No.1) (矢印は非金属介在物を示す)

短手方向に切断した断面の金属組織を Fig.4.7 に示す。金属組織は、Fig.4.7(a)に示すように試料上部と試料下部で異なり、鍛接界面では炭素濃度は連続的に変化している。また、試料上部では、最表面に炭素濃度が低い層が 20~30 μ m 程度形成している。試料上部は、Fig.4.7(b)で示すように主にパーライトからなり、炭素濃度は 0.8mass%と推定される。一方、試料下部の金属組織は、Fig.4.7(c)で示すように、主にフェライト組織からなり、炭素濃度は 0.1mass%以下と推定され、炭素濃度により 2層が形成している。

4.3.2.2 比較試料鋼板の非金属介在物の分布

比較試料鋼板中の非金属介在物は Fig.4.8 に示すように鋼板全体に分布している。非金属介在物の分布に着目すると鋼板の板面に平行に線状に分布しているものがある。このように線状に分布する非金属介在物は、組成からウスタイト(FeO)やファイヤライト ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) と考えられるものが主に観察される。Al や Si を多く含むガラス質成分を主成分とする非金属介在物も存在する。

4.3.3 小札鋼板と比較試料鋼板の硬さ

小札鋼板の硬さ測定を行った。鋼板の硬さは炭素濃度により異なるため、炭素濃度による層が 1層の試料 (No.2、No.9)、複数層の試料 (No.1)、及び比較試料鋼板に関して、硬さを測定した。結果を Table 4.4 に示す。小札 No.2 は、炭素濃度が 0.7mass%と推定されるパーライトとフェライトの混合組織の領域の硬さは 285~342Hv である。同等の炭素濃度の焼なまし材のブリネル硬度から近似的に換算した値⁵⁾と比較すると、至硬鋼

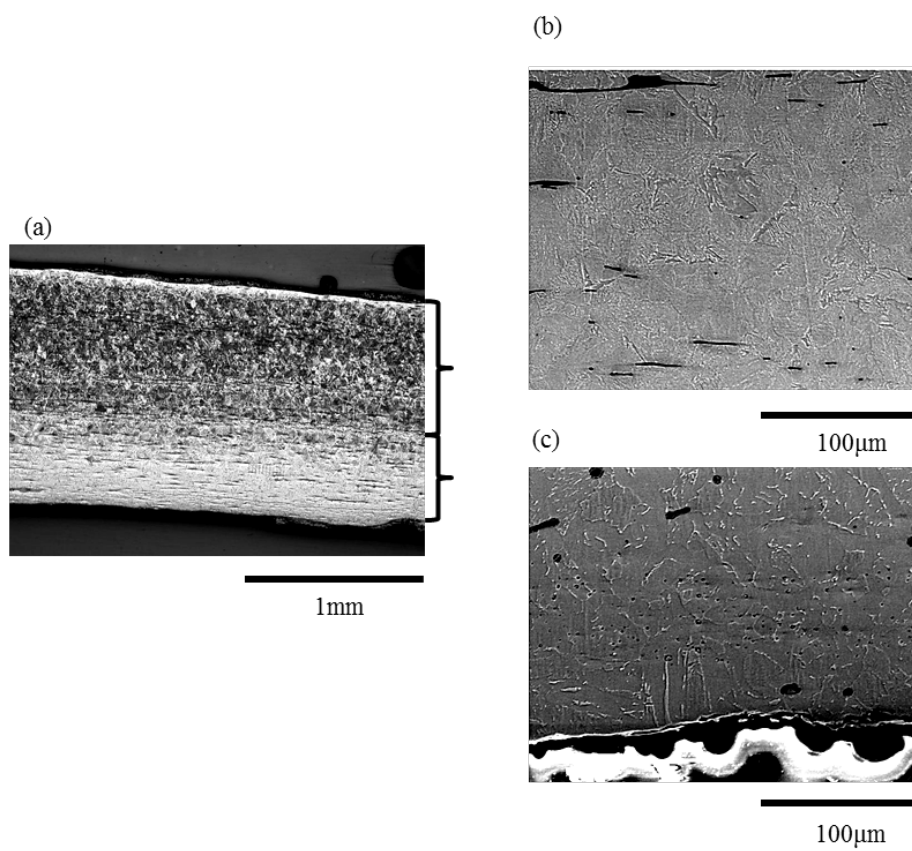


Fig. 4.7 比較試料鋼板の短手方向に切断した断面の金属組織

(0.03 mass% の和釘試料と 0.85 mass% の玉鋼試料が鍛接されている)

(a)比較試料の断面像 (b)試料上部の主にパーライトからなる金属組織

(c)試料下部の主にフェライトからなる金属組織

(0.5~0.8mass%)の約 190~245Hv より高い。小札 No.9 は、炭素濃度が 0.1mass%以下と推定されるフェライトの領域の硬さは 165~228Hv でやはり極軟鋼(0.08~0.12mass%)の焼なまし材の硬さ約 85~130Hv より高い。また小札 No.1 は、炭素濃度が 0.3mass%と推定されるフェライトとパーライトの混合組織の領域の硬さは 209~236Hv であり、フェライトの領域の硬さは 145~170Hv である。半軟鋼 (0.20~0.30mass%) の硬さ約 130~150Hv や極軟鋼の硬さ約 85~130Hv より高い値を示した。一方、比較試料鋼板の硬さは、炭素濃度 0.8mass%と推定されるパーライトの領域の硬さは 258~302Hv で、フェライトの領域では 183~189Hv である。比較試料鋼板においても、至硬鋼や極軟鋼の焼なまし材の硬さ約 190~245Hv、約 85~130Hv より高い値を示した。

4.4 考察

4.4.1 鋼板の炭素濃度と非金属介在物の分布から推定する鍛錬工程

Table 4.2 の結果から、小札鋼板の最小炭素濃度や最大炭素濃度は鋼板により異なる。また、炭素濃度による層数を調べた結果、小札鋼板には 1 種の炭素濃度からなる試料や、異なる複数の炭素濃度により積層している試料が観察される。前者は 1 種の炭素濃度の鋼をそのまま鍛造した「丸鍛え」であり、後者は異なる炭素濃度を鍛接した「合わせ鍛え」により製作されている。これは、宇野、金山の行った鎧の鋼板の金属組織観察の結果とも一致するが、本研究では鎧の一部位の中においても炭素濃度や構造の異なる鋼板が観察された。また、各鋼板の炭素濃度や構成と小札鋼板の配置位置には相関は見られない。

Table 4.4 小札鋼板のビッカース硬さ(No.1、No.2、No.9 及び比較試料鋼板) (Hv)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.1	209 (80)	236 (90)	209 (140)	221 (180)	209 (190)	151 (380)	160 (410)	170 (500)	145 (530)			
No.2	285 (90)	309 (110)	289 (140)	302 (210)	342 (260)	336 (330)	342 (390)	302 (400)	317 (440)			
No.9	181 (50)	221 (70)	183 (100)	165 (140)	165 (190)	193 (290)	216 (300)	228 (330)				
比較試料 鋼板	274 (100)	294 (200)	258 (300)	302 (400)	306 (500)	268 (600)	240 (700)	224 (800)	189 (900)	183 (1000)	183 (1100)	189 (1200)

(): 表面からの距離(μm)

Fig.4.7 の比較試料鋼板の炭素濃度を調べた結果、炭素の拡散により明確な境界は不明瞭であるが、金属組織は鋼板上部と下部で異なり、異なる炭素濃度の鋼を鍛接したことを示す結果が得られた。このことから、炭素濃度による層数は鍛接や折返し鍛錬に関して推定する指標となる。小札鋼板の炭素濃度による層数を調べた結果、1種の炭素濃度からなる試料は12枚中3枚のみで、大半が異なる複数の炭素濃度からなる。Fig.4.3やFig.4.4に示すような複数の炭素濃度からなる小札鋼板は、複数の鋼が使用され鍛接されている。また、Fig.4.3の鋼板の場合、これも炭素の拡散により明確な境界は不明瞭であるが、2章で示したように、中央の非金属介在物の位置が鍛接面であり、2材が接合している。小札鋼板は、炭素濃度の異なった鋼を鍛接することで2層になる。炭素濃度が3層の小札鋼板は、2材の鋼を鍛接したものを折返し鍛錬したか、3材を鍛接した場合になる。もう一度折り返し鍛錬をすると5層になる。

また、Fig.4.7(a)の比較試料鋼板では、表面近傍で脱炭層が観察された。Fig.4.2(b)の小札No.9の表面近傍の組織は、結晶が微細化して観察される。このように、小札鋼板の表面近傍では、加工過程における影響を受けやすく、結晶粒の微細化や浸炭、脱炭層の形成が起こる。

2章では鍛接原理を次の様に述べている。鍛接温度は約1300℃であるが、鍛接面ではFeの燃焼により1470℃にもなり、鋼表面が溶解し沸き花を発生する。この時鍛造することにより鋼板は接合する。したがって、鍛接界面にはウスタイト(FeO)を含む非金属介在物が取り残され、薄く伸ばされた非金属介在物や、点状の比較的大きな非金属介在物が線状に配列する。小札鋼板中に線状に分布した非金属介在物の中でも、ウスタイト(FeO)やファイア

ライト($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)を含むものは、鍛接時に混入したものである。また、非金属介在物から **K** が検出される。2章で示したように、**K** は鍛接時に使用する藁灰に含まれる成分である。したがって、非金属介在物中の **K** は藁灰に由来することが考えられる。

Fig.4.2(b)や Fig.4.3(a)に示すように、非金属介在物は異なる組織の界面や組織中で観察される。また、Fig.4.5で示すように、非金属介在物には線状に連続して分布しているものやランダムに分布しているものがある。比較試料鋼板は、和釘試料は3回の折返し鍛錬を行ったものであり、Fig.4.8で全体に線状に連続した非金属介在物の並びは、矢印で示す7本ある(W1~7)。一方、2回折り返し鍛錬を行った玉鋼試料は、鋼板中に3本の非金属介在物の並びが観察され(H1~3)、2つの鋼の鍛接面では、1本の非金属介在物の流れが鋼板中央部に見える(T)。鋼中には原料から含まれる非金属介在物がランダムに配列したり、非金属介在物や折返し鍛錬による非金属介在物の線状の分布が不明瞭になる場合もある。また、和鉄の比較試料のように和釘に製造する際に既に折返し鍛錬がなされており、その時点で非金属介在物が混入している可能性もある。さらに、鉄中の溶解酸素濃度が0.1mass%あるという報告⁶⁾もあり、加熱中にFeOが生成する場合もある。しかし、組織中に明確に観察される線状の非金属介在物の並びは、折返し鍛錬の結果であり、その数は鍛錬の回数を表している。また、異なる炭素濃度の鋼を鍛接した界面にも非金属介在物が観察される。

Fig.4.2(b)で示した小札鋼板では、非金属介在物の線状の流れは1本であり、1回の折返し

鍛錬がなされたことが分かる。Fig.4.3(a)の試料では、試料下部に1本の非金属介在物の並びが観察され、1回折返し鍛錬がなされたことが分かる。試料中部の非金属介在物は、試料上部と試料下部の試料の鍛接による。このように、小札鋼板の組織中に線状に分布し

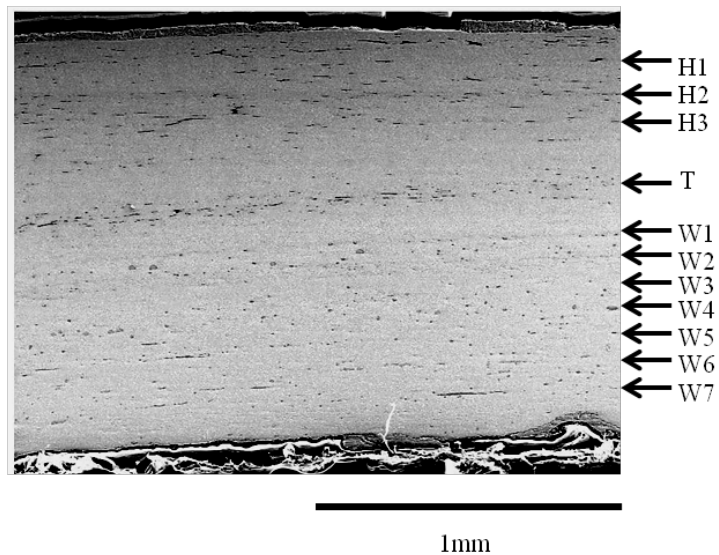


Fig.4.8 比較試料鋼板中の非金属介在物の分布

(H、W、Tは線状に分布した非金属介在物を示す。Hは炭素濃度の高い層、Wは炭素濃度の低い層、Tは鍛接面に分布する。)

た非金属介在物の最大本数を調べた結果を Table 4.2 に示す。炭素濃度が 1 層や 2 層の小札鋼板の場合、非金属介在物の本数は素材の折返し鍛錬の回数を示す。組織中に見られる非金属介在物の線状の並びは 1~4 本である。したがって、折返し鍛錬の回数は最低 1~3 回である。炭素濃度が 3 層や 5 層の小札鋼板では、素材の折返し鍛錬に起因するものと、2 材を鍛接した後に折返し鍛錬を行ったことにより混入する可能性がある。

4.4.2 硬さと非金属介在物からみた小札鋼板の延伸

小札鋼板と比較試料鋼板のビッカース硬さを測定した結果、調べた小札鋼板の硬さは、同等の炭素濃度の焼なまし材の硬さより高い。Fig.4.9 に小札鋼板の硬さと測定位置を示すが、Fig.4.9(a)で示すように、小札 No.9 の硬さは表面に近づくに従って上昇しているが表面近傍で低下している。表面に結晶粒径の微細な組織が観察されたことから、硬さの上昇は鋼板の鍛造の影響を示しており、表面近傍における硬さの低下は鍛造工程での加熱により表面が脱炭されたことによる。これは、Fig.4.9(b)の小札 No.2 の硬さ測定の結果、表面近傍で硬さが低下する傾向を示しており、試料の金属組織の炭素濃度が 0.7mass% で、表面近傍では 0.4mass% と炭素濃度が低下していることからわかる。また比較試料鋼板においても同様に、特に試料上部の表面近傍の硬さが低下しているのは、Fig.4.7(a)で示すように表面近傍が脱炭されたことによる。また、Fig.4.9(c)で示す小札 No.1 のように、異なる炭素濃度の鋼板を接合した試料では、試料中央では硬さは除々に変化する。この傾向は、Fig.4.9(d)で示す比較試料鋼板でも同様に観測され、鍛造中に炭素が高濃度側から低濃度側に拡散したことを示している。

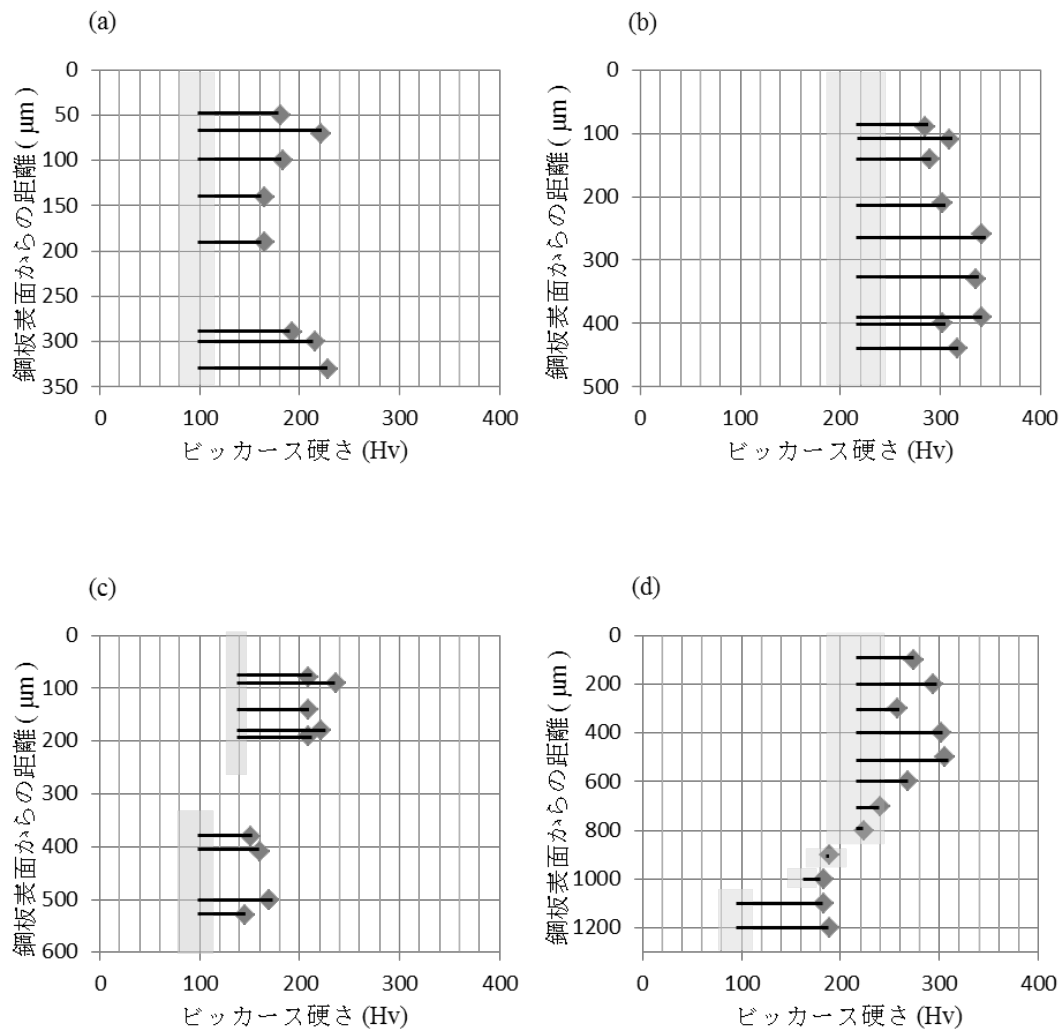


Fig.4.9 小札鋼板と比較試料鋼板の断面のビッカース硬さ

- (a)炭素濃度の低い鋼からなる小札鋼板(No.9)
- (b)炭素濃度の高い鋼からなる小札鋼板(No.2)
- (c)異なる複数の炭素濃度からなる小札鋼板(No.1)
- (d)比較試料鋼板

また、Fig.4.6 の長手方向と短手方向の断面試料の非金属介在物の形状を比較した結果、短手方向の断面で伸びた形状の非金属介在物が観察された。釘屋ら⁷⁾は小札 No. 1 の表面近傍の残留応力を測定し、長手方向より短手方向でより高い圧縮応力を示すことを示した。これは、小札鋼板が短手方向に伸ばされたことを示している。

4.4.3 小札鋼板の製作方法

4.4.3.1 鋼板の素材

小札鋼板の炭素濃度は、最小値が 0.1mass% 以下、最大値が 0.8mass% と推定される範囲で観察され、様々な炭素濃度の鋼板が存在する。たたら製鉄により製造される鋼には、銑鉄を脱炭して作った炭素濃度が 0.1mass% 程度の包丁鉄と刃物の刃に使われていた 0.7mass% 程度の鋼がある¹⁾。小札鋼板の炭素濃度から、小札鋼板には包丁鉄のような炭素濃度の低い鋼と刃物の刃に使われていたような炭素濃度の高い鋼が混用されていたことが分かる。

4.4.3.2 小札鋼板の製作方法

小札鋼板の最大地金厚さはいずれの試料でも 0.6~1.0mm であり、一定の地金厚さに制御されている。1mm の厚さの板を作る方法としては、玉鋼から製造する現代ののこぎり製法⁸⁾を参考にすることができる。鋼板を約 800℃ に加熱して板厚 5mm 程度にする。それを 2 分割しその 2 枚を重ねて鍛造して 5mm 程度にする。さらに別に作った同程度の厚さの板を重ね、最後は 8 枚を重ね、各鋼板が表面に出るように交互に入れ替えて鍛造し、

それぞれの板の厚さを 0.5mm 程度にする。小札鋼板の場合も同様の方法により厚さ 1mm 程度まで伸ばしたことが推察される。

津野⁹⁾によると、小札の製造工程には、板の切断、穿孔、整形がある。本試料の場合、小札鋼板は、包丁鉄や玉鋼などの素材を用いて折返し鍛錬や鍛接を行った後、1mm 程度に作製された。非金属介在物の形状や残留応力から、小札鋼板は短手方向に延伸されている。長手方向の一定幅のまま短手方向に長く伸ばされた鋼板は、熱処理などはなされずに、鋼板の短手方向の幅で一枚ずつに切り分けられ、鋼線を鋼板に通すための孔が穿たれた。また、小札鋼板の端の形状から、鋼板切断後、切断面のバリなどは処理され、少し内側に湾曲させて鎖で各鋼板を止めた。

4.5 結言

草摺に用いられた小札鋼板の金属組織観察を行った結果、鋼の素材には包丁鉄が使われるような低炭素濃度の鋼や、刃物に使われるような高炭素濃度の鋼が混用されている。また、小札鋼板の中には、1 種の炭素濃度からなる鋼板や異なる複数の炭素濃度の鋼が積層状に接合されているものが存在し、「丸鍛え」や「合わせ鍛え」がなされている。非金属介在物の分布から、素材の折り返し鍛錬は最低 1～3 回である。鋼板は、厚さ 1mm 程度に鋼板の短手方向に鍛造された後、焼なましなどをせず、切断、穿孔、整形が行われている。

本章は、「江戸時代の草摺に用いられた小札の鋼板製作方法」(日本金属学会誌. 2013, 77-8, pp.318-327) を一部修正したものである。

文献

- 1) 俵 國一. 日本刀の科学的研究. 日立評論社, 東京, 1953.
- 2) 東北大学編. 鉄鋼顕微鏡組織. 丸善, 東京, 1972.
- 3) 北田 正弘. 室町期日本刀の微細構造. 内田老鶴圃, 東京, 2008.
- 4) 田中 眞奈子, 北田 正弘. 江戸時代に製造された火縄銃の非金属介在物の組成と構造.
日本金属学会誌, 2010, 74, pp.250-257.
- 5) 日本金属学会編. 金属便覧. 丸善, 東京, 1952.
- 6) 古主 泰子, 永田 和宏. 木造建築用和鉄釘の復元-和鉄釘の酸素の状態-. CAMP-ISIJ.
2013, 26, p.221.
- 7) 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良, 永田 和宏. 草摺に用いられた鋼板の作製方法.
CAMP-ISIJ. 2013, 26, p.220
- 8) 日本の鋸. 岩波映画製作所, 1970. (DVD)
- 9) 津野 仁. 小札の製作について-武具生産の一齣-. 財団法人とちぎ生涯学習文化財団
埋蔵文化財センター研究紀要. 2002, 10, pp.51-77.

第5章 籠手、袖、肩上に用いられた鋼板の製作方法

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

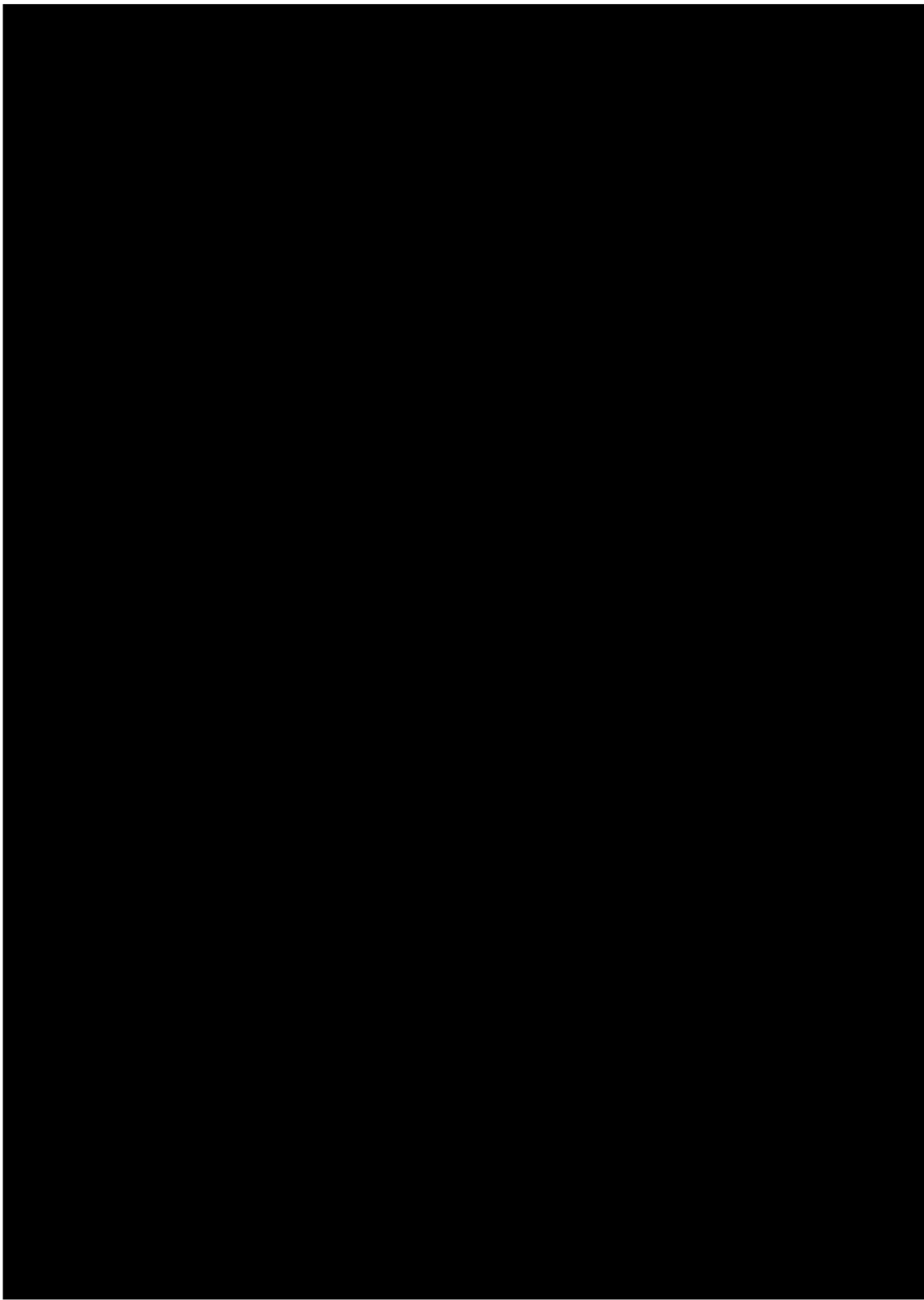
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

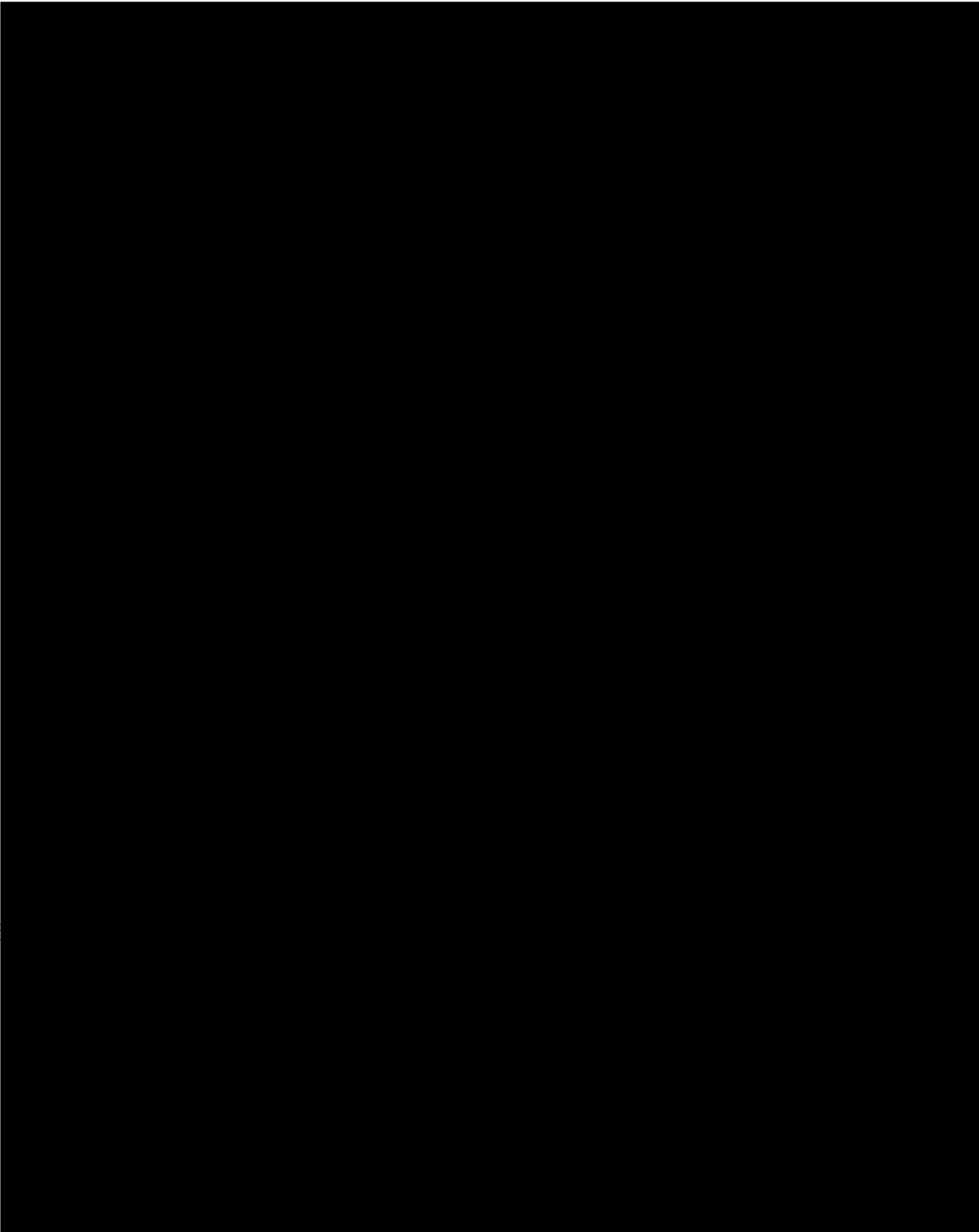
[REDACTED]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

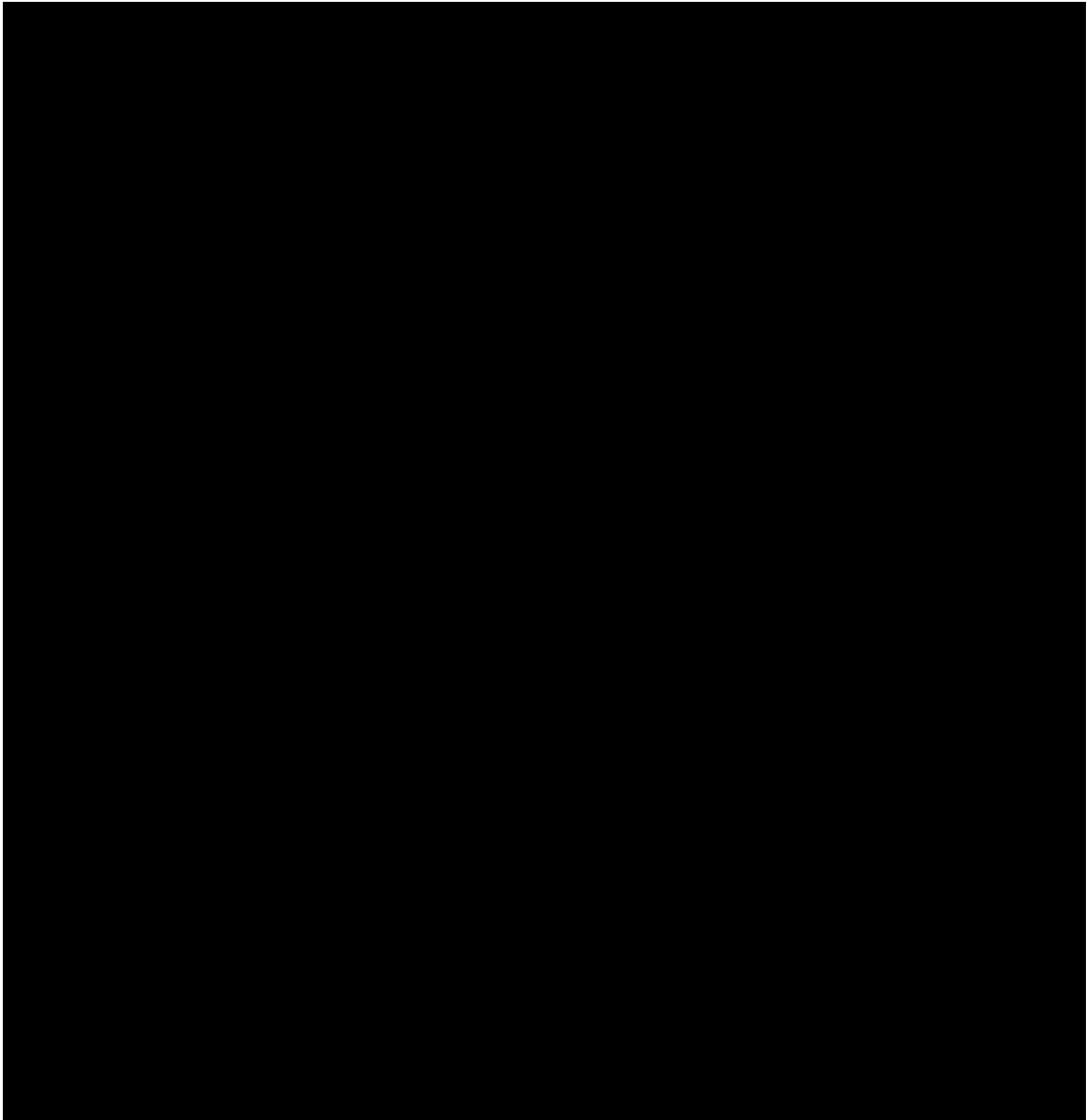


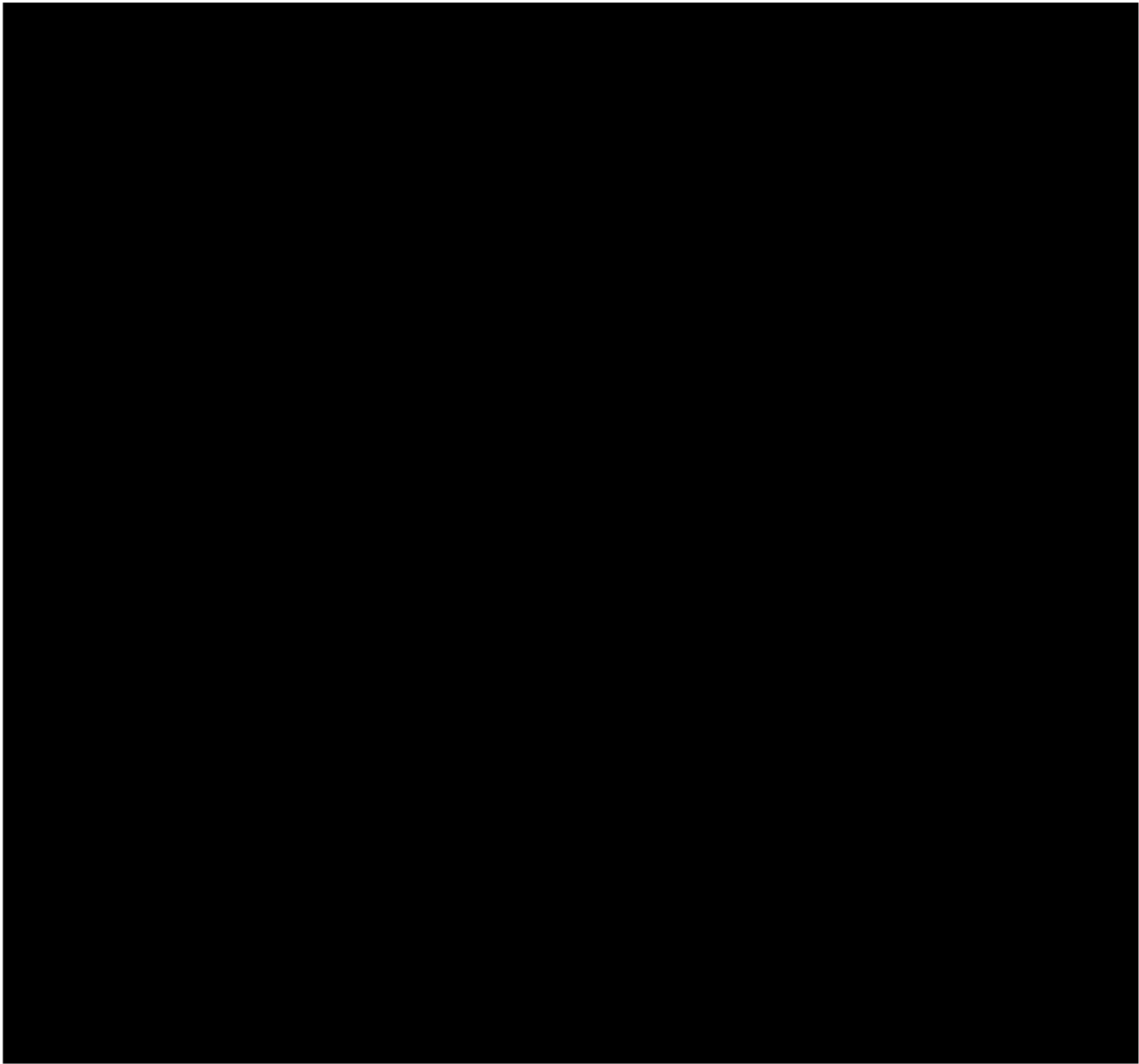
研

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]





[Redacted text block consisting of three lines of blacked-out content]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

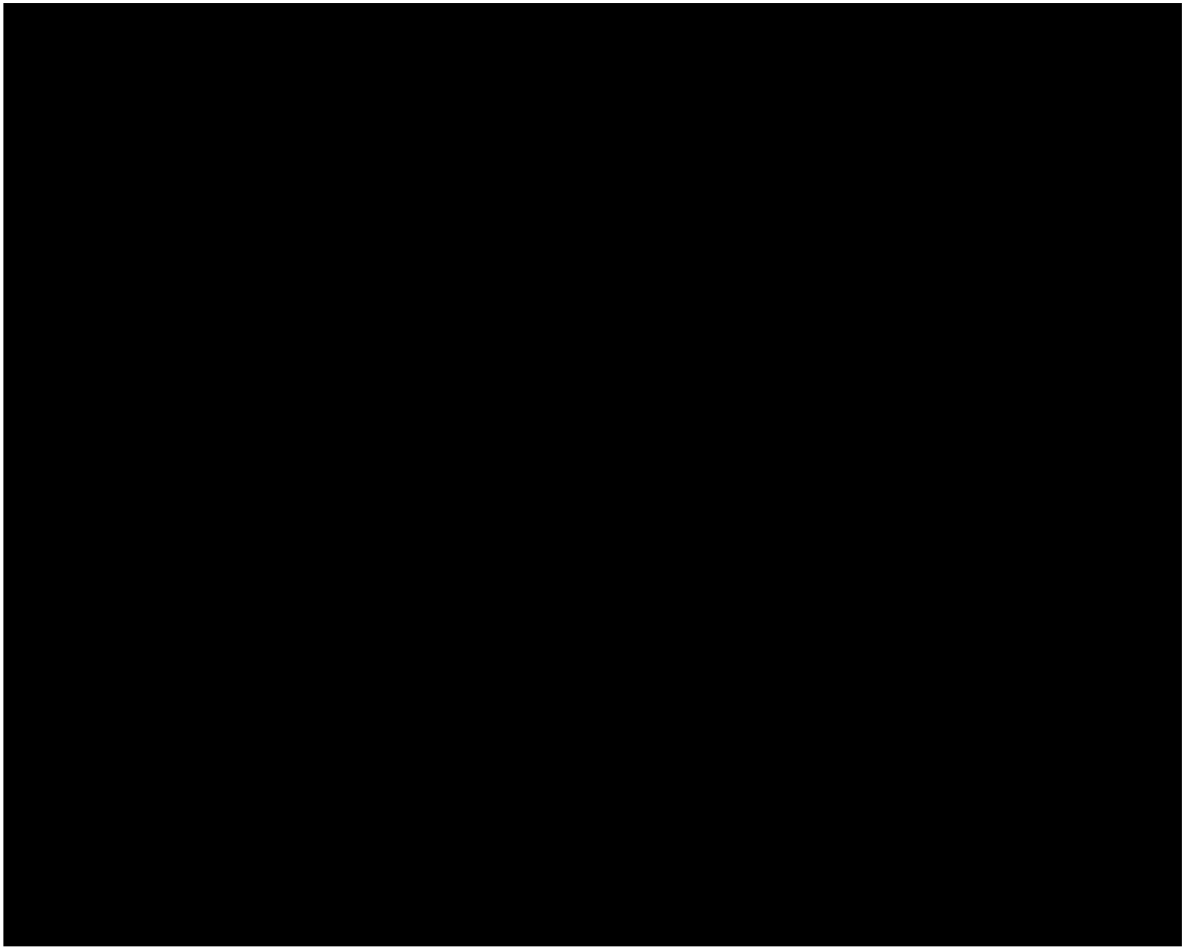
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

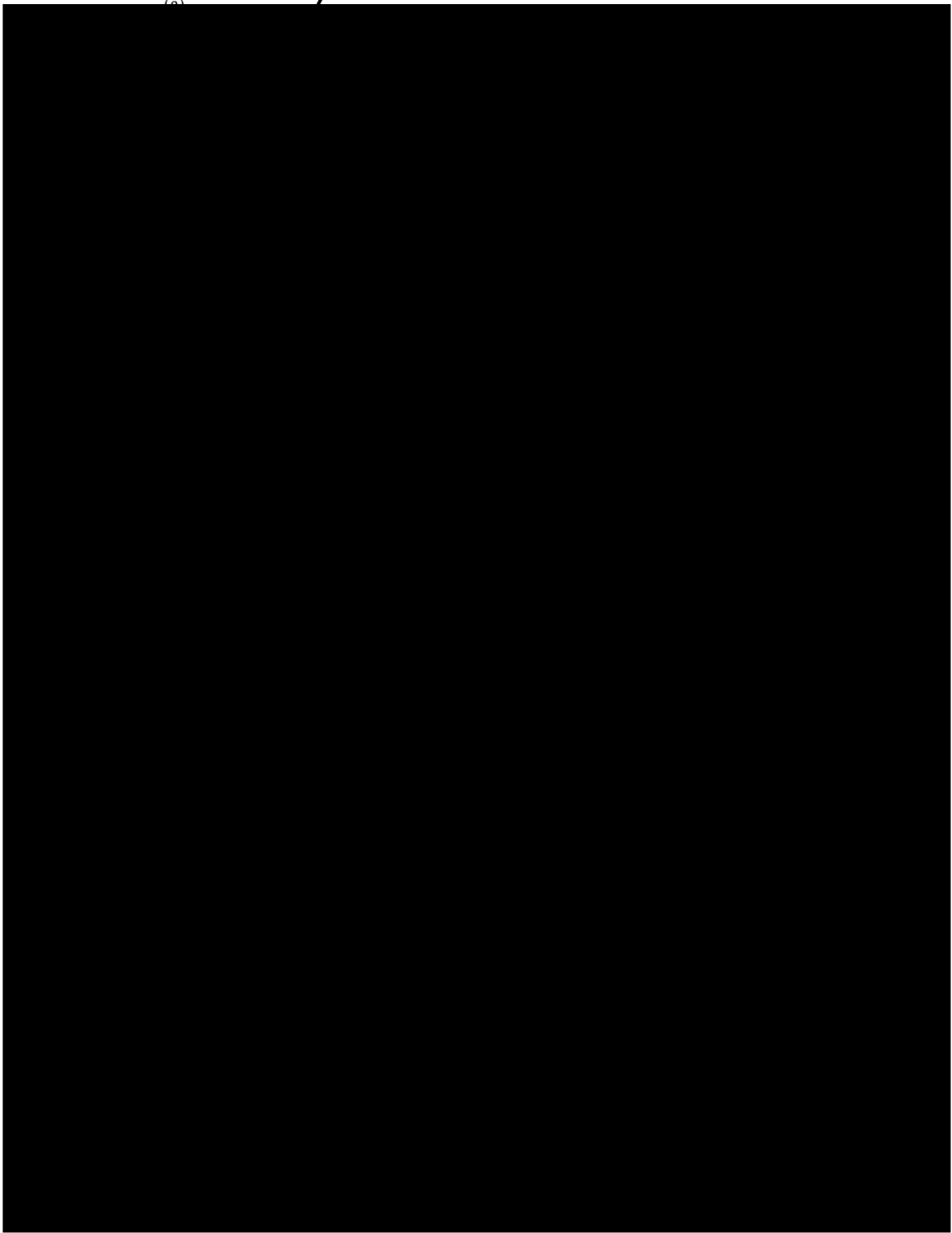
[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted text]

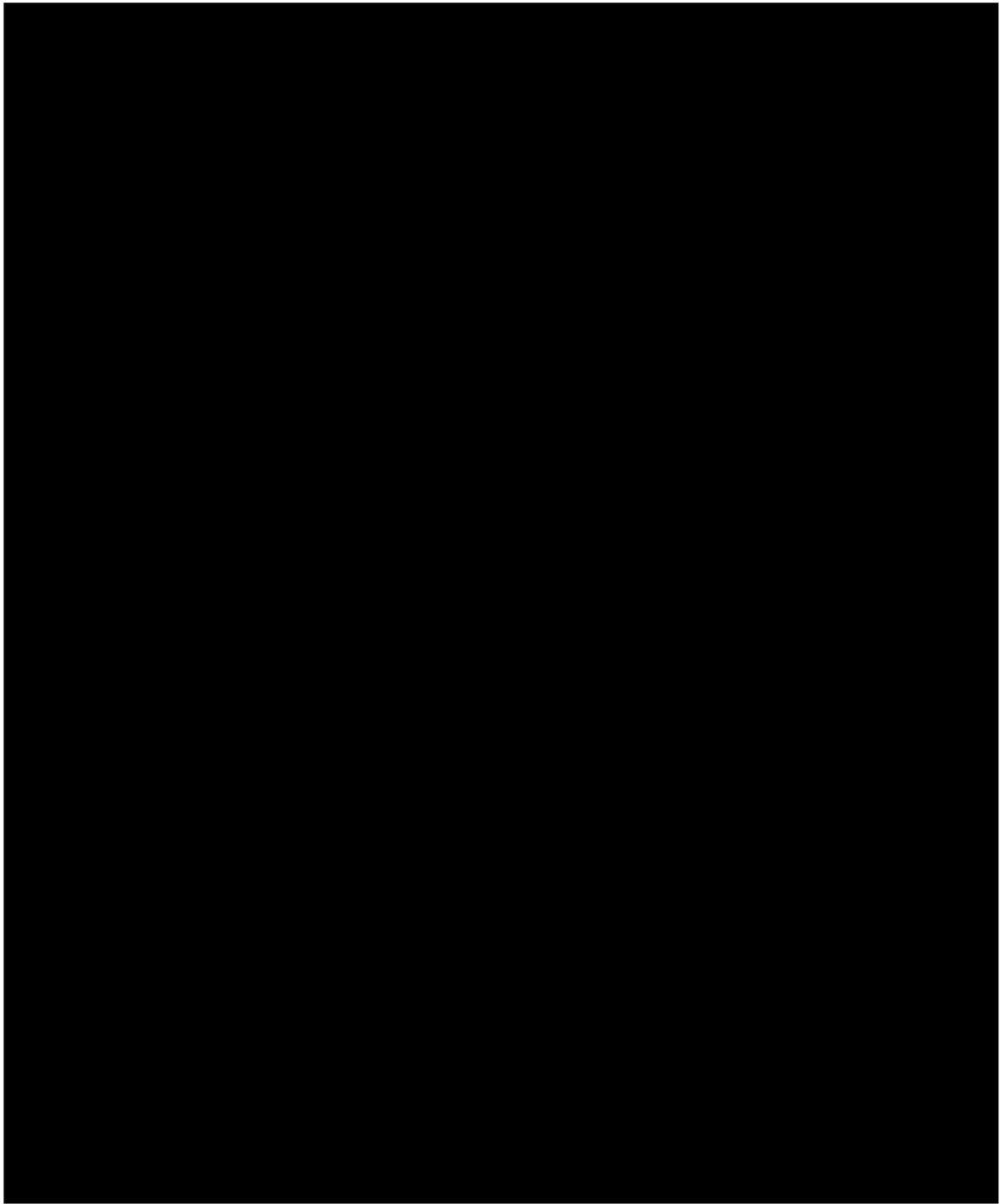
[Redacted text]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

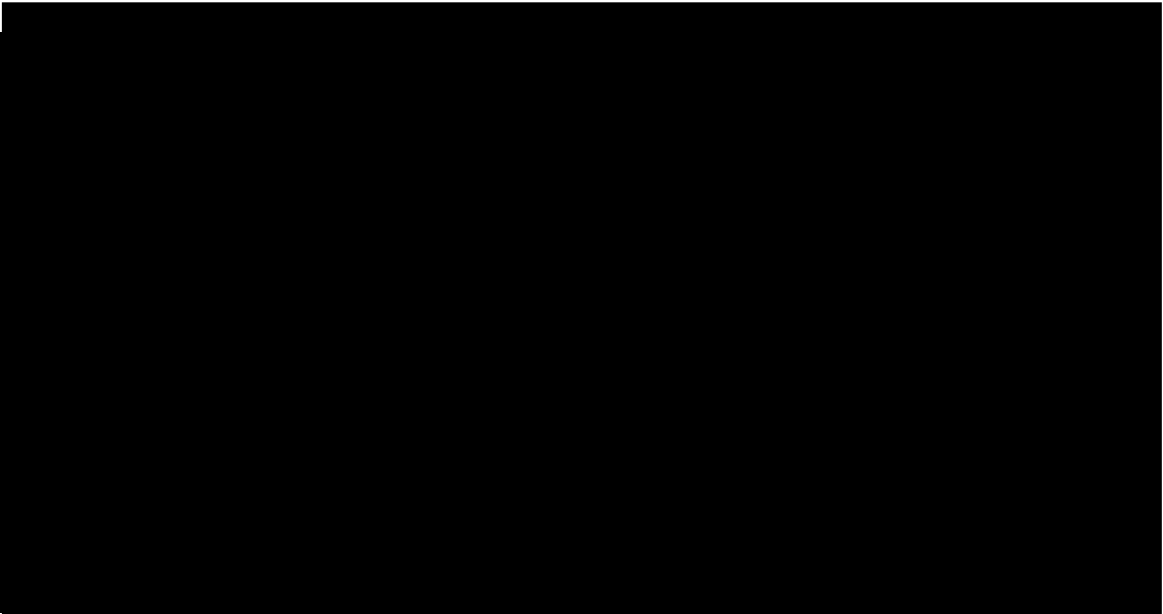
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

第6章 鎖鋼線の製作方法

6.1 緒言

これまで江戸時代に製作された鎧の鋼板の製作方法について述べたが、草摺や籠手などの鎧には鋼板と共に鋼線でできた鎖が多用されている。鎖は、鎧の部品として古くから利用されており、籠手(こて)、脛当(すねあて)、鞆(しころ)、佩楯(はいだて)などの部位で、鋼板を連結するために用いられたり、もしくは鎖帷子のように鎖のみで用いられている。特に、室町時代から江戸時代にかけて鎖の編み方が発達した。籠手などの場合、座盤(ざばん)や篠(しの)などと呼ばれる鋼板を必要とする鎧に代わり、鎖籠手(くさりごて)などの鎖のみからなる鎧が現れるなど、鎧において鎖の果たす役割が大きくなったとされている¹⁾。

鎖に用いられる材料は稀に真鍮もあるが、主に鋼である。鎖は鋼を線材にした後、輪に加工してそれらを繋ぎ合わせ作られる。鋼線材の製作は、鍛造から始まったと考えられるが、時代が下ると代わりにダイスによる線引きが行われるようになる。西洋では14世紀にはダイスを用いて水車の力で引っ張る線引きが行われており、それ以前は人力で引いていた²⁾。また、中国明代(1368~1644)の技術書である「天工開物」にもダイスの使用例が見られ、人力で鋼線を線引きしている図が掲載されている³⁾。我が国においても、絵図や文書などから19世紀初め頃にはダイスが導入されており⁴⁾、「鍼金職業并諸道具之図」や「先大津阿川砂鉄洗取之図」など、ダイスを用いた針金づくりの様子が描かれた絵図が残されている。

鎧に用いられた鎖や鋼線に関しては、絵図などの資料は残されているものの、材料や製作方法についての技術書や関連する文書が少なく、材料科学的な調査も行われていない。

よって、6 章では、室町時代末期から江戸時代と推定される鎧に用いられている鎖の線材について金属学的観点より調査を行い、その材料と製作方法を明らかにする。

6.2 実験

6.2.1 試料

草摺、籠手 2 種(北田正弘所蔵)および鎖帷子(明珍宗理所蔵)の 4 種の鎧に用いられた鎖を調べた。Fig.6.1 で示す草摺は、Fig.6.1(a)で示すように、小札（こざね）あるいは骨牌札（かるたざね）と呼ばれる鋼板 42 枚が、Fig.6.1(b)で示すように鎖で繋ぎ合わされている。鎖には、Fig.6.1(c)で示すように、円形と楕円形の 2 種の輪が用いられている。円形、楕円形の輪は一重で一点で合せられており、これは喰合せ（はみあわせ）の鎖という。楕円形の輪は小札鋼板の穴に通し、これを円形の輪で繋いでいる。さらに円形の輪を楕円形の輪で繋いでおり、鎖の組み方は円形に 4 つの楕円形を入れる四入（よついり）である。

次に、2 種の籠手を Fig.6.2 と Fig.6.3 に示す。まず、籠手 No.1 を Fig.6.2(a)に示す。籠手 No.1 には鋼板の小篠が 5 列 4 段に、さらに段の間に鋼線の鎖が、家地（いえじ）と呼ばれる布に縫い付けられている。鎖の部分を拡大すると Fig.6.2(b)で示すように一部で鎖は鋼板と連結されているが、鋼板の多くは糸で家地に綴じつけられている。籠手の鎖にも、草摺と同様、喰合せの円形と楕円形の 2 種の輪が用いられており、Fig.6.2(c)で示すように四入に組まれている。

Fig.6.3(a)で示す籠手 No.2 は、上から順に鋼板の手甲、細長い鋼板の篠が 4 列、小篠が 5 列 3 段、そして下の紐の部分に鋼板の冠板と呼ばれる 4 種の鋼板が家地に縫い付けられ

ている。鎖は各段の間に横 1 列に、及び篠と小篠の間の肘に当たる箇所には鎖を格子状に組んだ格子鎖が縫い付けてある。Fig.6.3(b)で示す鋼の輪は、円形と楕円形があるが、楕円形の輪の形状は他のものと異なり、1 周半の輪となっており表側が 2 重である。このような鎖を標返し(しめかえし)という。ここで図に示す家地の柄は籠手 No.1 と同一の柄である。鎖の組み方は Fig.6.3(c)に示すように籠手 No.1 と同様に、円形と楕円形の輪を交互に組んだ四入である。

Fig.6.4(a)で示すのは鎖帷子である。部位は判断できない。Fig.6.4(b)で示すように円形の輪の喰合せのみからなり、一つの円形の輪に四つの円形の輪が組まれて作られた八重鎖である。

6.2.2 鍛造による棒鋼と鋼線の作製

線材の製作方法を特定するため、折返し鍛錬の施された鋼を用いて、鍛造により線材を製作した。和釘と(公財)日本美術刀剣保存協会製の玉鋼 2 級品を鍛造し、2 種の鋼線を製作した。玉鋼は鍛造で棒鋼を作製した。鋼塊をテコ棒の先端の鉄皿の上に乗せ、藁灰と泥を塗り、木炭の燃焼熱で加熱し「積沸し鍛錬」にて矩形のブロック材を作った。次に「折返し鍛錬」を 4 回行い、約 9mm 角の棒鋼にした。

和釘と玉鋼の棒鋼を木炭の燃焼で加熱し、赤熱中に金床上で鍛造する作業を繰り返し、線の直径が 1mm φ 程度になるように線材を作製した。

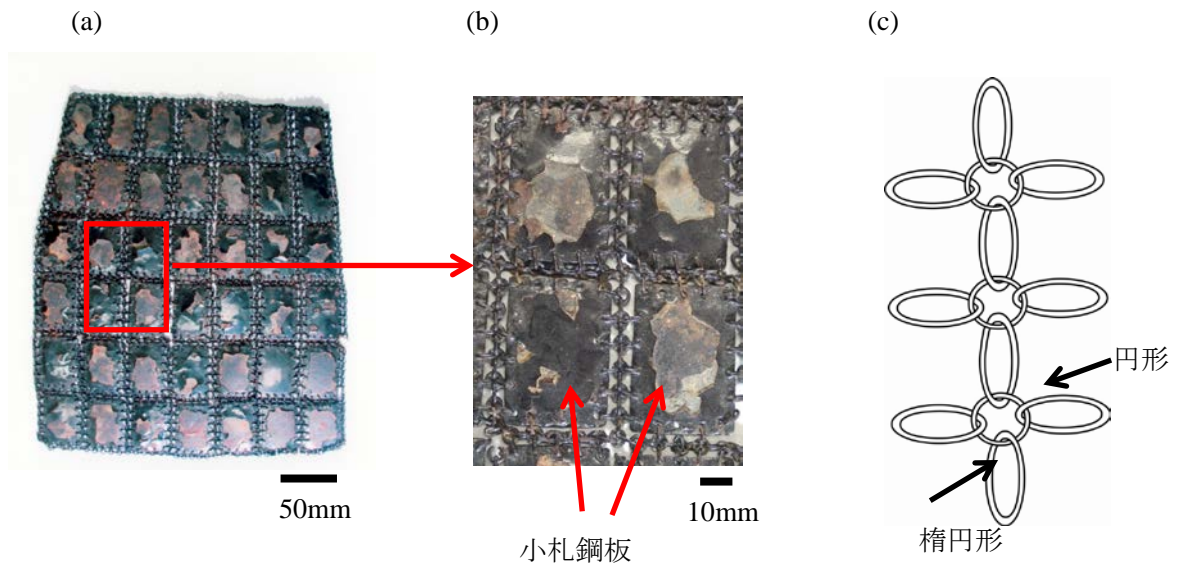


Fig.6.1 草摺の外観像 (a)草摺 (b)小札鋼板と鎖 (c)円形と楕円形の輪による鎖の構造

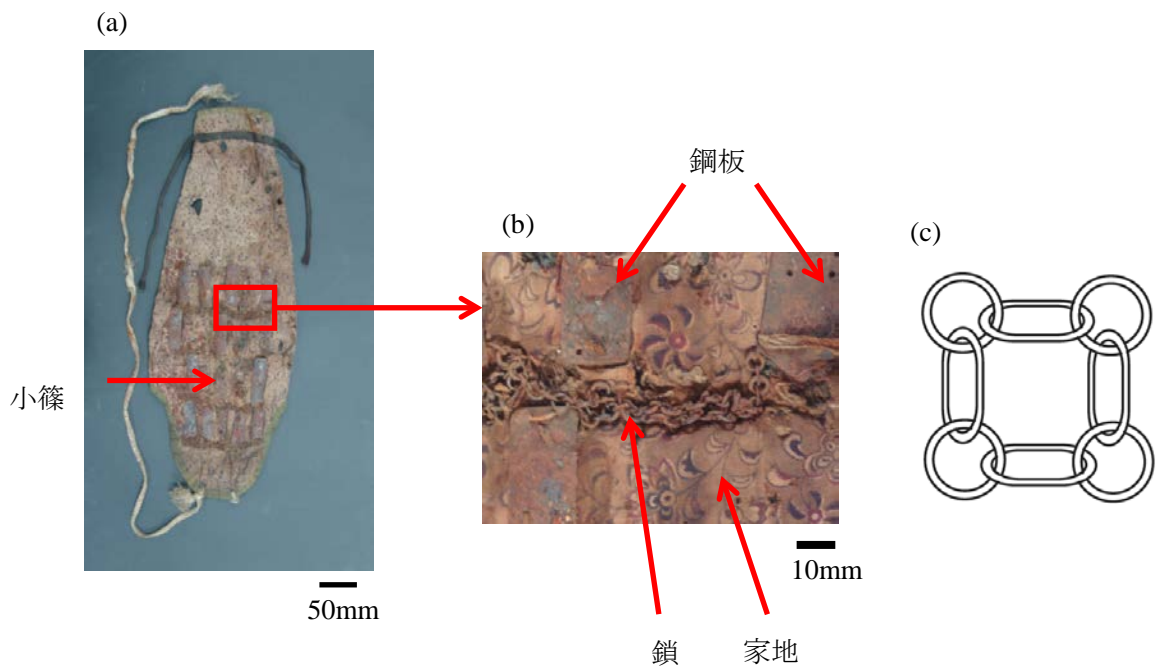


Fig.6.2 籠手 No.1 の外観像

(a)籠手 No.1 (b)鋼板、鎖と家地 (c)円形と楕円形の輪による鎖の構造

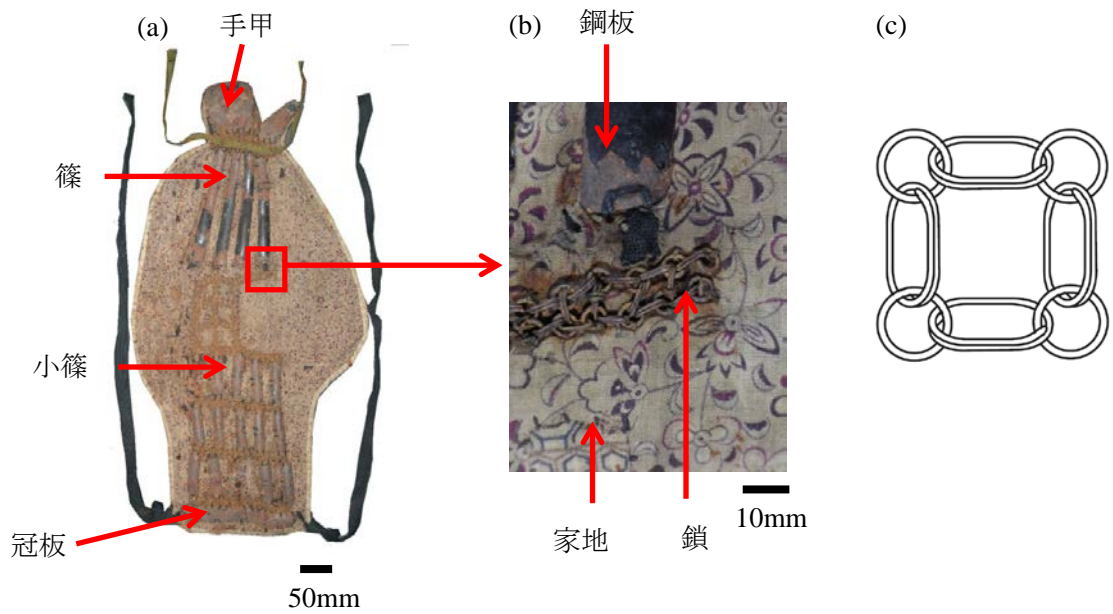


Fig.6.3 籠手 No.2 の外観像

(a)籠手 No.2 (b)鋼板、鎖と家地 (c)円形と楕円形の輪による鎖の構造

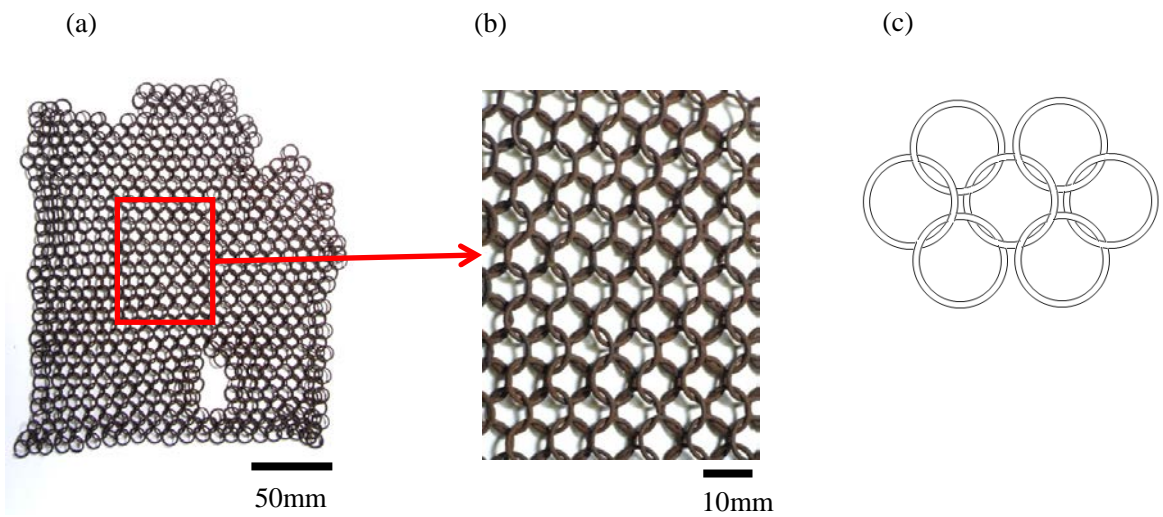


Fig.6.4 鎖帷子の外観像

(a)鎖帷子 (b)八重鎖 (c)円形の輪による鎖の構造

6.2.3 鋼線の焼なまし

線材の加工の程度を調べるため、草摺の鋼の輪に熱処理を施し焼なましによる結晶粒の変化を観察した。草摺の鋼の輪を採取し電気炉(サーモ理工、GFA430)を用いてアルゴンガス中で700°C、3時間加熱し、炉内で徐冷し焼なましを行った。

6.2.4 実験方法

草摺から円形、楕円形の輪を各16個採取した。その内12個を鋼線の面に平行な断面の観察用試料(平行断面試料)とし、4個を鋼線の軸に垂直な断面観察用試料(垂直断面試料)とした。籠手 No.1 と籠手 No.2 からは円形と楕円形の輪を各4個、鎖帷子からは円形の輪を2個採取し平行断面試料とした。

金属組織観察用試料は、樹脂に包埋した後、バフを用いて鏡面研磨を行った。そして、各試料を2~5%ナイトール液で処理した。金属組織観察には、光学顕微鏡(NIKON、ECLIPSE LV100POL)および走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscopy: SEM) (日立製作所、S2460)を用いた。

平均炭素濃度は、鋼の輪の表面の漆と考えられる塗装層をリューターおよび研磨紙にて取り除いた後、数個の輪(質量合計0.6~1.0g)を一試料とし燃焼法(LECO、CS-444LS)により測定した。また、局所的な炭素濃度は、炭素濃度が既知の鉄鋼材料の標準金属組織⁵⁾との比較により推定した。非金属介在物の組成はSEMに付属するエネルギー分散型X線分析装置(HORIBA、EMAX ENERGY EX-250)により測定した。

応力測定はX線回折装置(RIGAKU、AutoMATE、CrK α 線、電圧40kV、電流50mA)を用

い $\sin \theta$ 2- ϕ 法により解析し、結晶方位は、電子後方散乱図形(Electron Backscatter Diffraction Pattern: EBSD) 解析システム(OXFORD、EBSP Nordlys Nano)を装備した電子顕微鏡(日立製作所、SU6600)により観測した。硬さはマイクロビッカース硬度計(島津製作所、NT-M001)で測定した。

6.3 実験結果

6.3.1 鋼の輪の外観と寸法

草摺、籠手 No.1、籠手 No.2 および鎖帷子の鎖に用いられた鋼の輪の寸法を Table 6.1 に示す。草摺や籠手 No.1、籠手 No.2 の円形と楕円形の輪の寸法には、鎧の部位による差は見られず、円形の輪の外径は 4.6~5.8mm、内径は 3.1~4.1mm で鋼線の直径は 0.4~1.2mm である。楕円形の輪は、外形の長径は 4.9~7.1mm、外径の短径は 2.1~4.2mm、鋼線の直径は 0.5~1.0mm である。

一方、鎖帷子の鋼の輪の寸法は他より大きく、外径は 10.2~10.4mm、内径は 8.3mm である。鋼線の直径は 1.0~1.1mm である。よって、いずれの試料も鋼線の直径は 1mm ϕ 程度である。

6.3.2 鋼の輪の平均炭素濃度

草摺、籠手 No.1、籠手 No.2 および鎖帷子の鎖に用いられた鋼の輪の平均炭素濃度を Table 6.2 に示す。草摺の平均炭素濃度は 0.16~0.40mass% である。また、籠手 No.1 と籠手 No.2 の平均炭素濃度は 0.11~0.28mass% である。さらに、鎖帷子は 0.22mass% である。結果、

Table 6.1 草摺、籠手 No.1、籠手 No.2、鎖帷子の鋼の輪の寸法と結晶粒のアスペクト比

試料		寸法					結晶粒の アスペクト比	
		外径 (mm)	内径 (mm)	外径の幅 (mm)	外径の長さ (mm)	線の直径 (mm)		
草摺	円形	KuR1	5.8	3.6			1.2	4.3
		KuR2	5.5	3.5			1.0	6.0
		KuR3	5.7	3.3			1.1	4.1
		KuR4	5.6	3.4			1.1	5.4
		KuR5	5.0	3.2			0.9	6.6
		KuR6	5.3	3.3			0.9	6.2
		KuR7	5.5	3.4			1.2	2.7
		KuR8	5.1	3.1			1.0	5.0
		KuR9	5.4	3.3			1.0	4.3
		KuR10	5.4	3.1			1.2	4.7
		KuR11	5.4	3.5			1.0	4.6
		KuR12	5.2	3.2			1.1	4.8
	楕円形	KuO1			7.1	3.8	1.0	5.7
		KuO2			6.5	3.5	0.9	5.1
		KuO3			6.6	3.5	1.0	5.7
		KuO4			6.8	3.3	0.9	7.7
		KuO5			6.2	4.1	0.8	9.0
		KuO6			5.8	3.7	0.9	6.4
		KuO7			6.2	4.2	0.9	5.6
		KuO8			5.8	3.6	0.9	7.4
		KuO9			5.7	3.9	0.8	7.2
		KuO10			6.0	3.4	0.8	9.6
		KuO11			6.2	3.5	0.9	6.7
		KuO12			5.5	3.7	0.8	7.3
籠手 No.1	円形	Ko1R1	5.0	3.3			0.9	3.9
		Ko1R2	4.6	3.2			0.4	3.2
		Ko1R3	4.6	3.2			0.6	6.5
		Ko1R4	4.7	3.3			0.8	8.6
	楕円形	Ko1O1			5.1	2.3	0.5	14.9
		Ko1O2			4.9	2.5	0.6	20.6
		Ko1O3			5.1	2.5	0.6	13.1
		Ko1O4			5.1	2.4	0.6	17.4

Table 6.1 草摺、籠手 No.1、籠手 No.2、鎖帷子の鋼の輪の寸法と結晶粒のアスペクト比 (つづき)

試料			寸法					結晶粒のアスペクト比
			外径 (mm)	内径 (mm)	外径の幅 (mm)	外径の長さ (mm)	線の直径 (mm)	
籠手 No.2	円形	Ko2R1	5.6	4.1			0.9	7.8
		Ko2R2	5.6	3.8			0.8	7.3
		Ko2R3	5.7	3.9			0.9	6.2
		Ko2R4	5.6	3.8			0.9	5.5
	楕円形	Ko2O1			6.1	2.4	0.5	7.6
		Ko2O2			6.5	2.5	0.6	7.7
		Ko2O3			5.9	2.1	0.5	8.1
		Ko2O4			6.1	2.4	0.6	12.0
鎖帷子	円形	KkR1	10.2	8.3			1.0	4.6
		KkR2	10.4	8.3			1.1	3.8
草摺	円形	KuR13-16		鋼線軸方向の金属組織観察のための試料				
	楕円	KuO13-16						

輪の平均炭素濃度は 0.11~0.40mass%であり、試料による差や円形、楕円形の形状による有意な差はみられない。

6.3.3 鋼の輪の金属組織と炭素濃度分布

草摺の鎖に用いられた円形の輪(KuR1)の平行断面の全体像を Fig.6.5(a)に示し、その上部の断面像を Fig.6.5(b)に示す。Fig.6.5(c)で示すように、鋼線の中心ではフェライトと非金属介在物が観察され炭素濃度は 0.1 mass%以下である。また Fig.6.5(d)で示す鋼線の表面近傍の炭素濃度は 0.1 mass%程度である。Fig.6.5(d)で暗くみえる箇所を Fig.6.5(e)で示すが、縞状組織のパーライトが観察される。輪の右側の平行断面像も上部と同様であり、観察箇所による大差はみられない。

Fig.6.6(a)で示す楕円形の輪(KuO5)の平行断面の金属組織を観察すると、Fig.6.6(b)で示すように、異なる炭素濃度により 3 層を形成している。暗くみえる鋼線の外側の表面近傍は Fig.6.6(c)で示すように、フェライトとパーライトの混合組織であり炭素濃度は 0.5mass%程度である。鋼線の中心は主にフェライトからなり、炭素濃度は 0.1mass%以下である。炭素濃度は異なるが、円形の鋼の輪と同様の金属組織である。

一方、楕円形の輪の鋼線(KuO14)の中心軸に垂直な断面の金属組織を Fig.6.7(a)に示す。鋼線の上下の表面近傍には Fig.6.7(b)で示すように、フェライトとパーライトが観察され、炭素濃度は 0.5 mass%と推定される。中央では Fig.6.7(c)で示すように主にフェライトとパーライト組織が観察されるが、炭素濃度は 0.2 mass%程度である。よって、低炭素濃度の

Table 6.2 鋼の輪の平均炭素濃度

試料		炭素濃度 (mass%)	試料の重量 (g)
草摺	円形	0.40	0.7
	楕円形	0.16	0.7
籠手 No.1	円形	0.18	0.7
	楕円形	0.28	0.6
籠手 No.2	円形	0.11	0.7
	楕円形	0.13	1.0
鎖帷子	円形	0.22	0.6

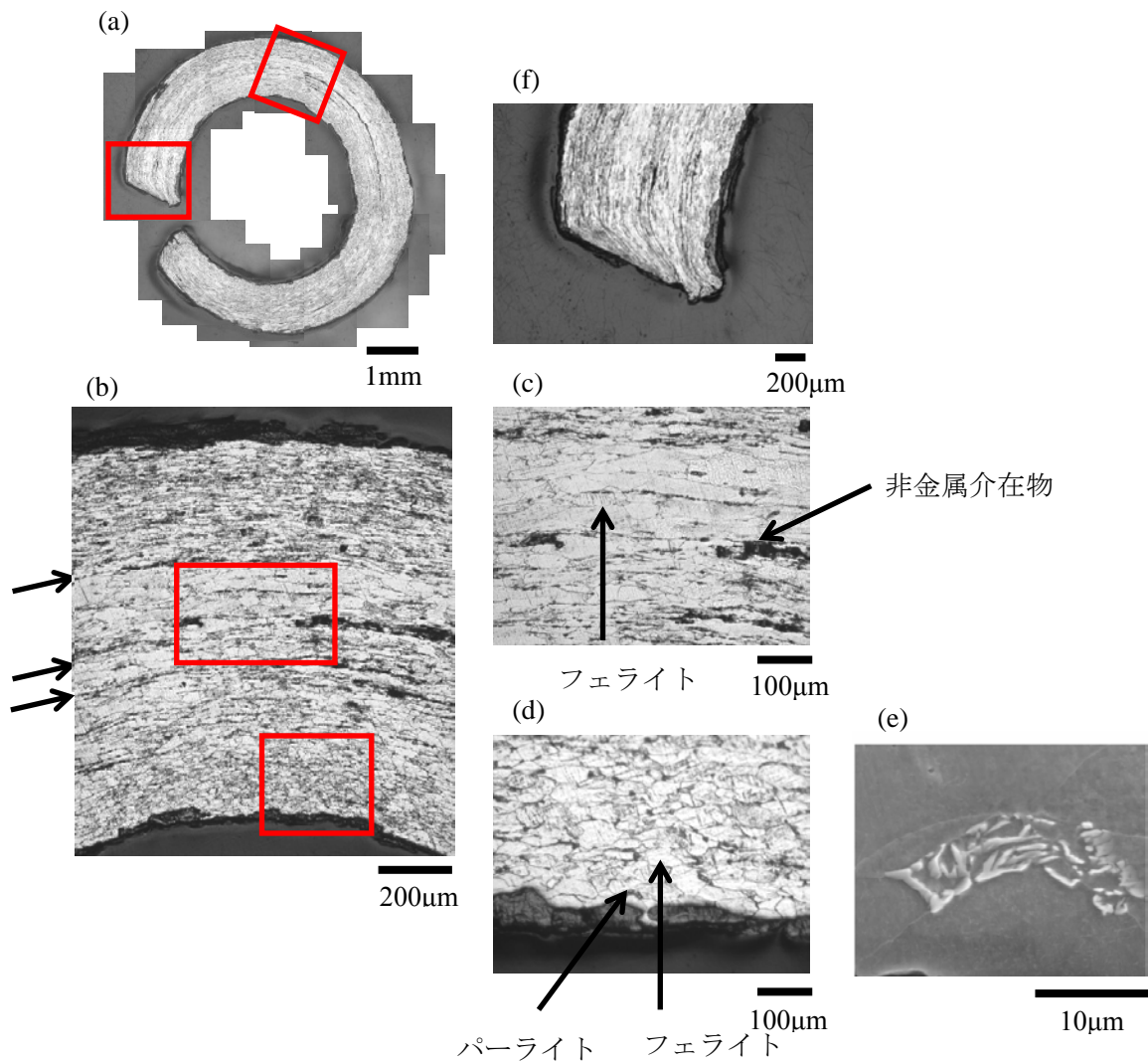


Fig.6.6.5 草摺の円形の輪(KuR1)の平行断面

- (a)円形の輪の平行断面全体像(KuR1)
- (b)試料上部の断面像(矢印は折り返し鍛錬により含まれた非金属介在物を示す)
- (c)フェライトと非金属介在物からなる鋼線内部
- (d)フェライトとパーライトからなる鋼線表面近傍
- (e)(d)にみられるパーライト組織
- (f)鋼線先端

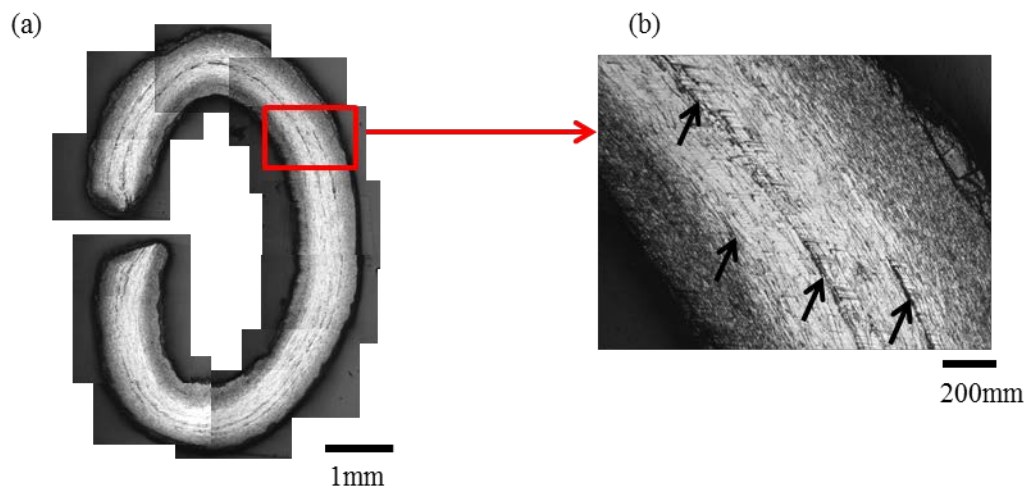


Fig.6.6 草摺の楕円形の輪(KuO5)の平行断面像

(a)楕円形の輪の平行断面全体像

(b)炭素濃度により3層からなる

(矢印は折り返し鍛錬により含まれた非金属介在物を示す)

鋼が高炭素濃度の鋼で上下に挟まれていることが分かる。しかし他の鋼の輪の断面を観察すると、Fig.6.7(d)に示すように全面フェライトの試料(KuO15)、あるいは Fig.6.7(e)に示すようにフェライトとフェライト+パーライトの混合組織が不均一に分布している試料(KuR16)がみられる。これは母材中の炭素濃度の不均質さによる。

6.3.4 鋼線内の結晶粒のアスペクト比

各試料の平行断面像より得たフェライトのアスペクト比を Table 6.1 に示す。Fig.6.5(b)に示す草摺の円形の輪(KuR1)では、フェライトの結晶粒は鋼線の軸方向に繊維状に延ばされており、結晶粒の長径と短径のアスペクト比は平均 4.3 で、加工された組織を示す。

一方、Fig.6.6(a)で示す楕円形の輪(KuO5)の平行断面の金属組織を観察すると、Fig.6.6(b)で示すようにフェライトの結晶粒は軸方向に大きく変形しており、長径と短径のアスペクト比は平均 9.0 で円形より大きい。

また、Fig.6.7(c)に示す草摺の鋼の輪の垂直断面の金属組織では、結晶粒の形状は多角形状であり、さらに非金属介在物は点状に分布している。平行断面の観察結果とも併せると、金属組織は軸方向に繊維状に伸ばされていることが分かる。

Fig.6.8(a)、(b)には、籠手 No.1 の円形と楕円形の輪(Ko1R3、Ko1O1)、Fig.6.8(c)、(d)には籠手 No.2 の円形と楕円形の輪(Ko2R4、Ko2O2)、また Fig.6.8(e)、(f)には鎖帷子の円形の輪(KkR1、KkR2)について、平行断面の金属組織を観察した結果を示す。いずれも、草摺の鋼の輪同様、鋼線の軸方向に結晶粒が伸びて観察される。Table 6.1 にも示すように結晶粒は、円形より楕円形の輪の方が伸びている。また、観察する鋼の輪により炭素濃度が異な

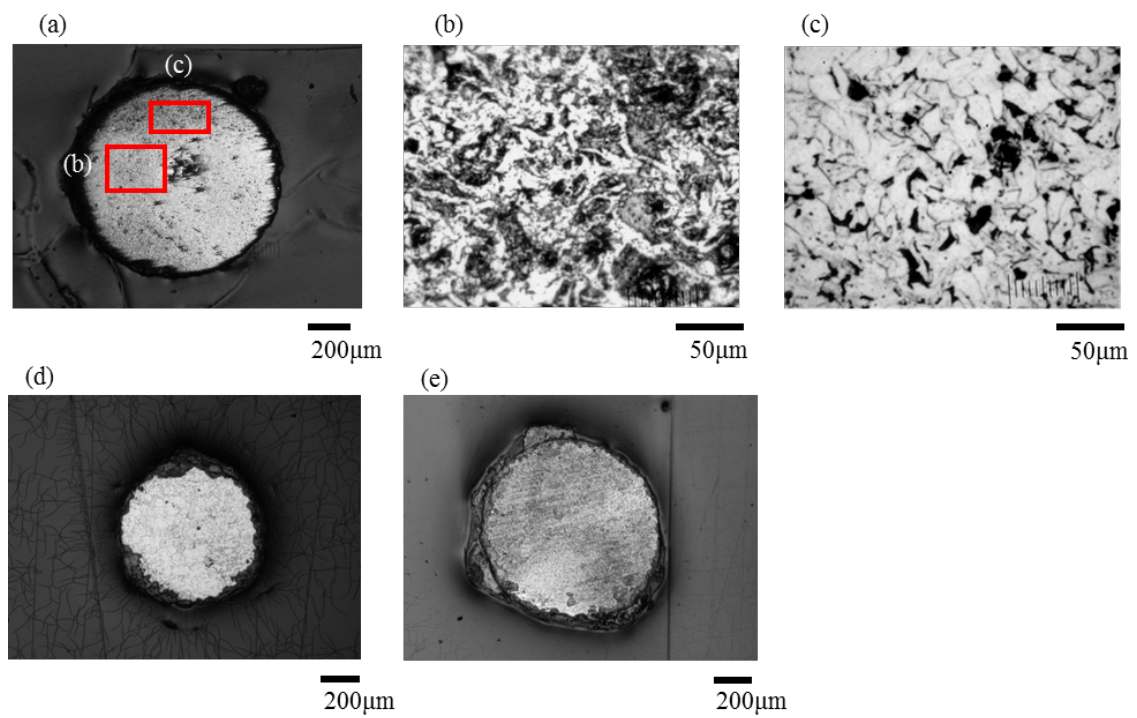


Fig.6.7 草摺の楕円形の輪の垂直断面像

(a)草摺の楕円形の輪の断面像(KuO14)

(b)(a)の中の炭素濃度の高い領域

(c)(a)の中の炭素濃度の低い領域

(d)フェライトのみからなる楕円鋼線(KuO15)

(e)不均一な炭素濃度からなる円形の輪(KuR16)

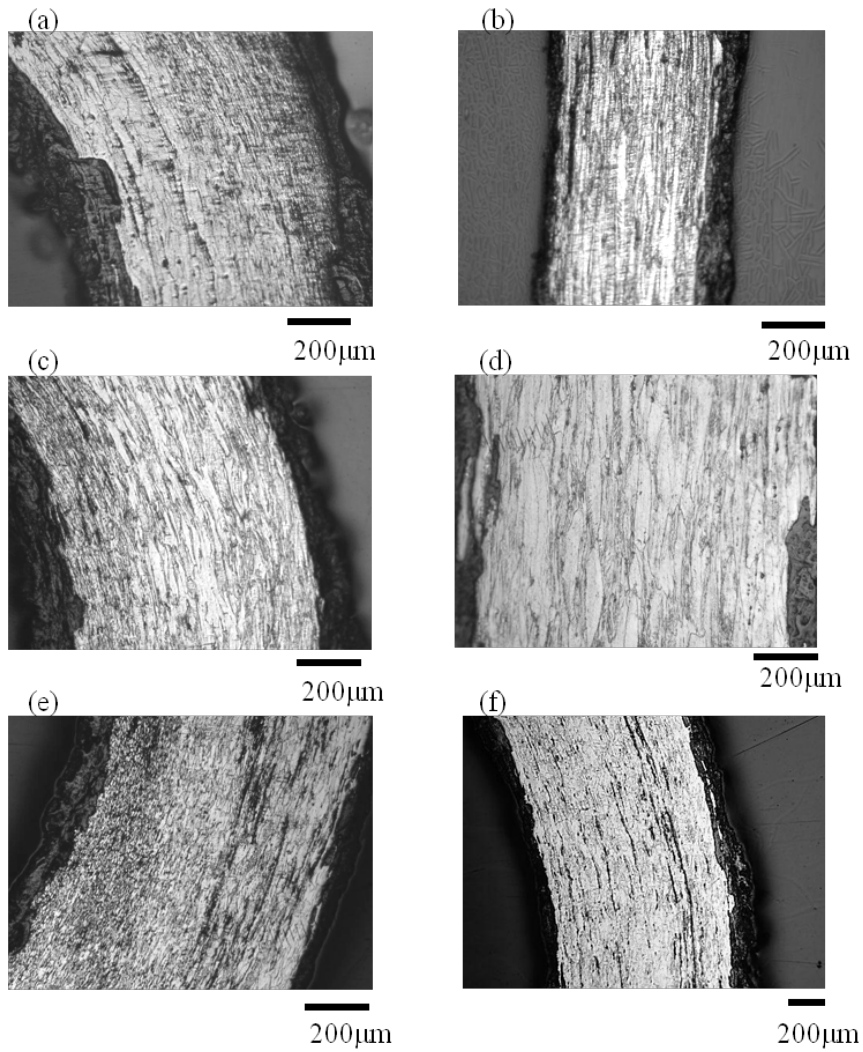


Fig.6.8 結晶粒のアスペクト比と炭素濃度の比較

- (a)籠手 No.1 の円形の輪(Ko1R3) (b)籠手 No.1 の楕円形の輪(Ko1O1)
(c)籠手 No.2 の円形の輪(Ko2R4) (d)籠手 No.2 の楕円形の輪(Ko2O2)
(e)鎖帷子の円形の輪(KkR1) (f)鎖帷子の円形の輪(KkR2)

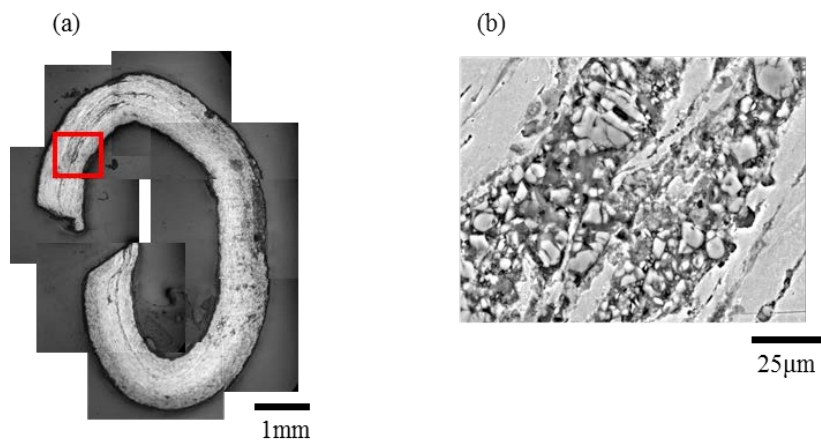


Fig.6.9 草摺の楕円形の輪(KuO7)にみられる非金属介在物

Table 6.3 草摺の楕円形の輪(KuO7)にみられる非金属介物の組成

組成 (mass%)							
Na	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Fe
0.6	0.3	0.5	2.7	0.1	0.9	0.3	94.6

り、ばらつきがあるのが観察される。

6.3.5 鋼線中の非金属介在物

Fig.6.5(b)や Fig.6.6(b)の図中に矢印で示すのは非金属介在物で、鋼線の軸方向に平行に線状に連なって観察される。このように線状に分布している非金属介在物は主に FeO である。これは、4 章で述べたとおり、素材を折返し鍛錬する際に生成したものである。折返し鍛錬は、鍛接により鋼同士を完全に接合することが目的なので、必ずしも明確でないものもあるが、Fig.6.5(b)や Fig.6.6(b)では明確な非金属介在物の線が 3 本観察される。よって、これらの素材では 2 回折返し鍛錬が施されていることが分かる。

草摺の楕円形の輪(KuO7)に観察される非金属介在物の SEM 観察の結果を Fig.6.9 に示す。Fig.6.9(a)に示す楕円形の輪に見られる非金属介在物は Fig.6.9(b)で示すように、内部が細かく破壊されている。また、C と O を除いた非金属介在物の組成分析の結果を Table 6.3 に示す。非金属介在物の組成は主に FeO であり、約 2%のファイヤライト($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$)を含む。

6.3.6 鋼の輪の切り口の形状

Fig.6.5(a)の鋼の輪の左側の先端部を Fig.6.5(f)に示す。鋼線の先端は、斜めに剪断された形状をしており、線の内側に向かって結晶粒や非金属介在物が流れているのが観察される。これは鋏により切断したことによる。

6.3.7 草摺の鋼の輪の焼鈍による結晶粒の形状変化

熱処理前後の断面像の変化を Fig.6.10 に示す。Fig.6.10(a)は熱処理前の金属組織で、加工によりフェライトや非金属介在物が一定方向に伸ばされて観察される。一方、Fig.6.10(b)の熱処理後の金属組織では、フェライトは多角形状になっており、700°Cで3時間の熱処理により再結晶したことが分かる。

6.3.8 草摺の鋼の輪の結晶粒の結晶面の配向性

金属組織観察の結果、結晶粒は鋼線の軸方向に伸延していた。ここでは参考として電子後方散乱図形と極点図を示す。鋼線の ND(圧延面法線方向)からの結晶方位を調べた結果を Fig.6.11(a)に示す。色分けされた各色が結晶方位を示すものであるが、結晶は様々な色で示されており、また一方向に伸ばされた形状をしている。一方、Fig.6.11(b)に、ND 方向からの〈110〉極点図を示すが、〈110〉極点図では、特定の方向(TD)への結晶の配向がみられ〈110〉方位においては集合組織となっているのが観測される。この結果は、線材が伸線されたことを示しており、金属組織観察の結果とも一致する。

6.3.9 鋼の輪の硬さ

草摺の鋼の輪の硬さを Table 6.5 に示す。草摺、籠手 No.1、籠手 No.2 では各鍍試料につき4試料、鎖帷子は2試料について鋼線の中心部分を各5点ずつ測定した。比較として、同程度の炭素を含む焼なまし材のブリネル硬度の文献値⁶⁾よりビッカース硬さを算出した値を示す。結果、硬さは、いずれも算出値と同等かそれ以上の値を得た。籠手 No.2 におい

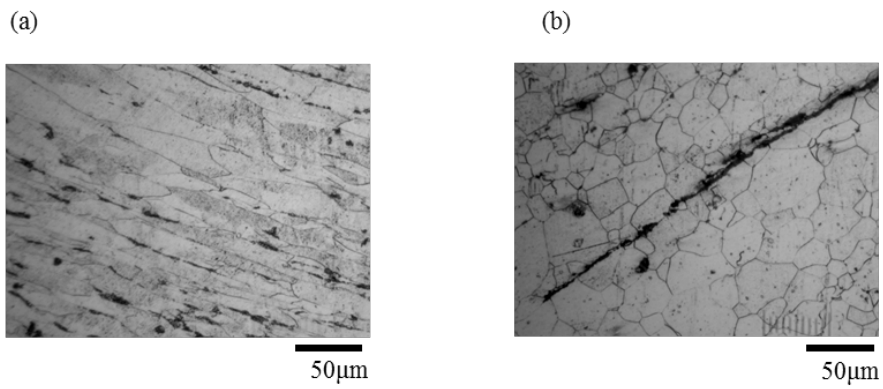


Fig.6.10 草摺の鋼の輪の焼なましによる結晶粒の形状変化
(a)焼なまし前 (b)焼なまし後(700°C、3h)

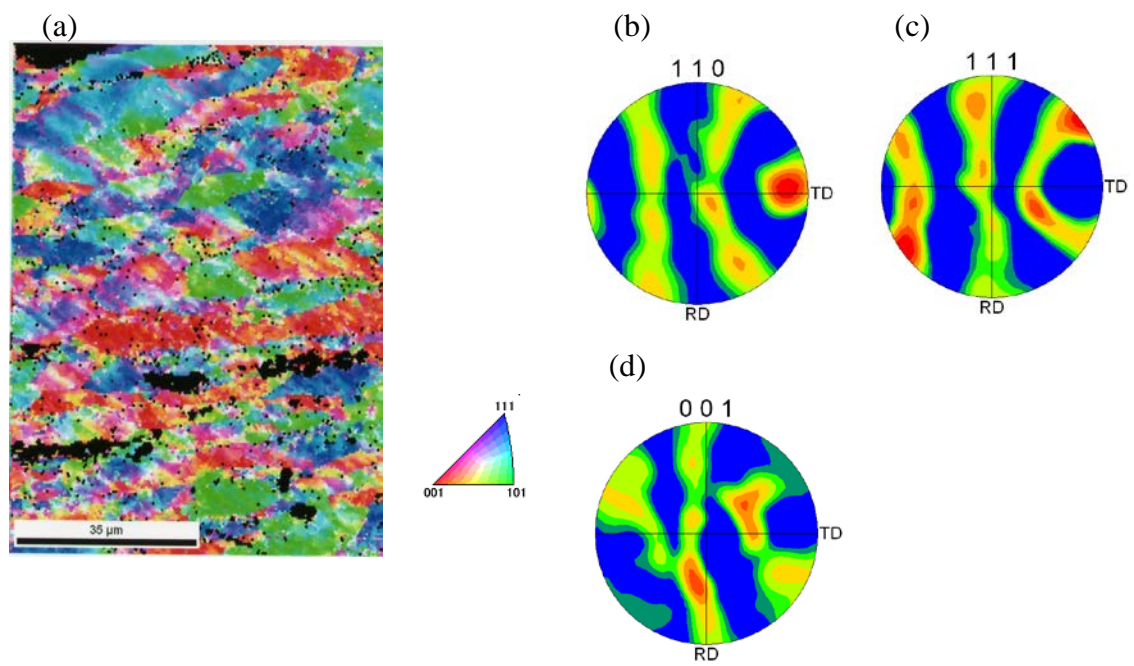


Fig.6.11 草摺の鋼の輪の結晶粒の結晶方位マッピング

て、円形より楕円形の輪の硬さが高い結果を得たが、他の結果とも併せると輪の形状による有意な差はみられない。

6.3.10 鋼の輪の残留応力

草摺の鋼の輪に関する残留応力の測定位置を Fig.6.12 に、測定結果を Table 6.6 に示す。輪の破断面近傍の外表面では、輪の軸方向で $-156 \pm 12.7 \text{MPa}$ の圧縮応力、輪の円周方向で $106.7 \pm 10.4 \text{MPa}$ の引張応力が観測された。また、破断面の側面では半径方向で $-93.9 \pm 13.9 \text{MPa}$ 、接線方向で $-7.4 \pm 18.9 \text{MPa}$ の圧縮応力が測定された。これは破断面で半径方向に鋏で切断したことを示している。一方、破断面の反対側の外表面では軸方向で $-10.3 \pm 8.7 \text{MPa}$ であるが、円周方向で $-97.7 \pm 18.1 \text{MPa}$ の圧縮応力が観測された。側面では半径方向で $6.7 \pm 7.8 \text{MPa}$ 、円周方向で $-11.1 \pm 12.6 \text{MPa}$ と比較的小さい。これは鋼線が曲げられたとき引き伸ばされたことを示している。また、最終工程後の焼なましは行われていない。

6.3.1.1 鍛造による棒鋼の形状変化

Fig.6.13(a)に示す鍛造で作製された直径約 1mm の和釘や玉鋼は、直径が 2mm 以下になると加工中に線の中央部や先端部が裂けた。これは、鋼線を鍛冶炉の火床(ほど)から取り出した際に、鋼線が急速に冷却され、温度が下がった状態で鍛造されたため、割れが生じた。Fig.6.13(b)に、線材の先端で線の軸方向に割れが起きた部分を示す。鍛造実験の結果より、和釘や玉鋼を用いた線材の鍛造の限界は直径 2mm で、それより減面させるにはダイスを使って伸線する必要があることが示された。

Table 6.5 草摺、籠手 No.1、籠手 No.2.鎖帷子の鋼の輪のビッカース硬さ

試料	ビッカース硬さ		炭素濃度 (mass%)
	測定値	焼なまし材 ⁶⁾	
KuR1	176-199	85-130	< 0.1
KuR2	193-224	130-150	0.2
KuR3	125-245	85-130	< 0.1
KuR4	167-181	85-130	< 0.1
KuO1	143-187	105-140	0.1
KuO2	176-216	85-130	<0.1
KuO3	236-268	170-210	0.4
KuO4	136-167	130-150	0.2
Ko1R1	189-240	85-130	<0.1
Ko1R2	196-225	85-130	<0.1
Ko1R3	206-236	85-130	<0.1
Ko1R4	175-206	105-140	0.1
Ko1O1	149-228	85-130	<0.1
Ko1O2	199-224	85-130	<0.1
Ko1O3	206-224	85-130	<0.1
Ko1O4	199-245	85-130	<0.1
Ko2R1	156-254	85-130	<0.1
Ko2R2	219-249	85-130	<0.1
Ko2R3	213-254	85-130	<0.1
Ko2R4	136-264	85-130	<0.1
Ko2O1	228-264	85-130	<0.1
Ko2O2	249-297	85-130	<0.1
Ko2O3	254-279	130-150	0.2
Ko2O4	236-268	130-150	0.2
KkR1	196-274	105-140	0.1
KkR2	189-228	85-130	<0.1

Table 6.6 草摺の鋼の輪の残留応力

測定箇所		残留応力 (P/Mpa)			
		軸方向	円周方向	半径方向	接線方向
外表面	破断面近傍	-156±12.7	106.7±10.4		
	中心	-10.3±8.7	-97.7±18.1		
側面	破断面近傍			-93.9±13.9	-7.4±18.9
	中心			-6.7±7.8	-11.1±12.6

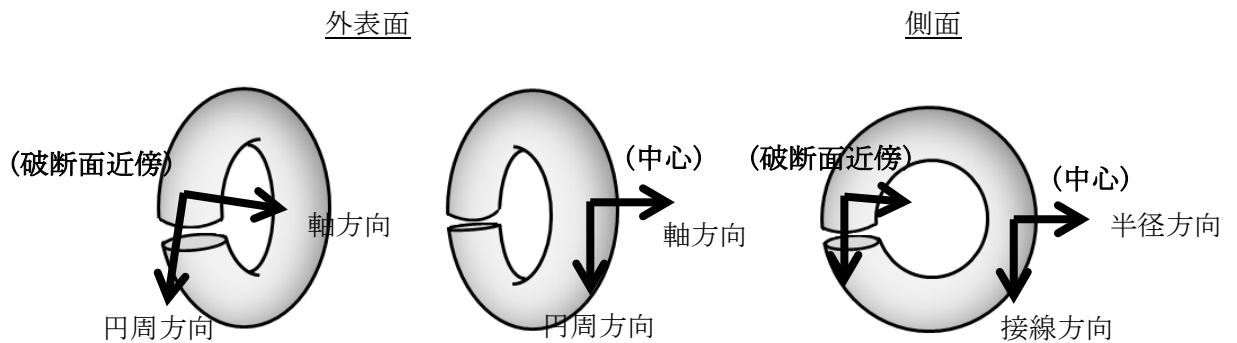


Fig.6.12 草摺の鋼の輪に関する残留応力の測定位置

加工中に割れが生じた和釘や玉鋼試料の断面試料を観察すると、Fig.6.13(c)で示す和釘試料の金属組織は、主に明るいフェライトからなり炭素濃度は0.1mass%以下と推定され、結晶粒は伸ばされていない。一方、玉鋼試料も Fig.6.13(d)に示すように、フェライトとパーライトの混合組織からなり炭素濃度は0.4mass%と推定されるが、結晶は変形していない。また、玉鋼試料の場合、表面近傍で炭素濃度が0.2mass%と低くなっており、鍛造による脱炭層が形成されている。

6.4 考察

6.4.1 鎖の鋼線の材料

Fig.6.5 や Fig.6.6 で示すように、炭素濃度と非金属介在物の分布から、線の素材は2回程度折返し鍛錬を行っている。江戸時代の製鉄方法であるたたら製鉄では、鋼塊の(けら)と銑(ずく)を造り、銑を大鍛冶で脱炭した。大鍛冶では「下げ」と「本場」の二工程が行われており、前者は平均炭素濃度0.7mass%の「下げ鉄」、後者は0.1mass%以下の「卸し金」を製造した後、鍛造により「包丁鉄」を製造していた⁷⁾。Table 2 に示すように平均炭素濃度が0.11~0.40mass%であることから、鋼線の製作においては「包丁鉄」を用い、2回程度の折返し鍛錬により不均質な領域を分散させた。

6.4.2 鋼線の規格

鎖の鎖の製作方法を示す文献のうち、明治18年(1885)に松原佐久により書かれた「鎖

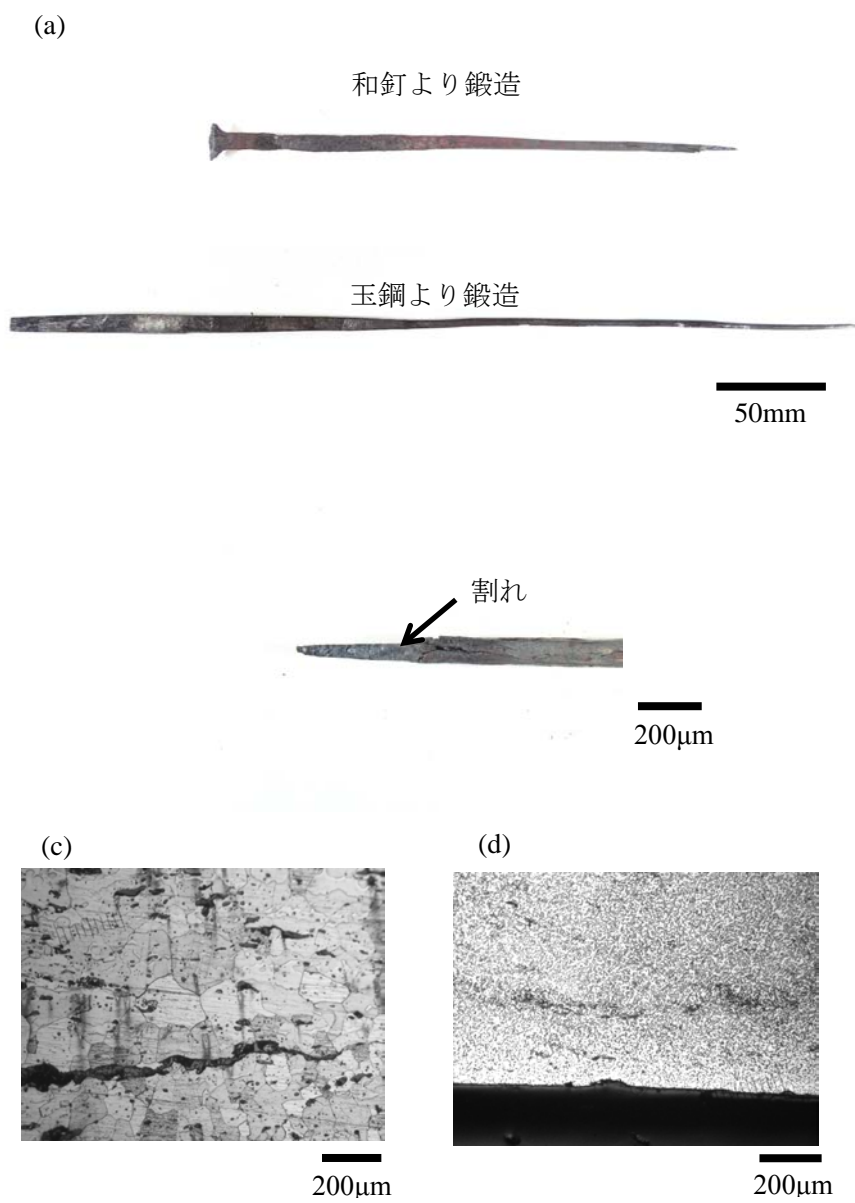


Fig.6.13 鍛造による棒鋼と鋼線の製作

(a)和釘試料と玉鋼試料 (b)和釘試料にみられる鍛造時の割れ

(c)和釘試料の断面像 (d)玉鋼試料の断面像

話」⁸⁾の中の「籠手」の項の記述では、円形の輪に「七ト金」、楕円形の輪に「五ト金」と称する鋼線を用いるとしている。また「釘・針金等の統制とその沿革」⁹⁾に掲載されている元治元年(1864)4月に大阪の針金問屋仲間で出した「値違覚」は、鉄線材に関する表である。この規格表においても、「七ト」および「五ト」が見られることから、これらが規格品として存在していることが分かる。また、この規格表においては「七ト」は「30 匁」、「五ト」は「35 匁」となっている。同書には、「一尺の重量により何匁の線と呼称して取引の用とした。」とあることから、「値違覚」の匁は一尺当たりの重量を表す。

6.4.3 鋼線の製作方法

鋼線製作工程は、Fig.6.14 に示す江戸後期の絵図「鍼金職業并諸道具之図」(山県郡大利原村深井家文書「国郡志御編集ニ付書上帖」)を参考にできる。絵図は、「芸藩通史」編纂のための下調べのために描かれたもので、広島県新庄村の針金作りの様子を示し、「芸藩通史」の編纂時期から、文政元年(1818)から文政8年(1825)に描かれたとされる⁴⁾。絵図中には、鋼材を鍛造で棒にする「本場」、鋼線を焼なましする「なまし場」、ダイスで線引きをする「出シ場」および鋼線を束にまとめる「こすり場」がある。

6.4.3.1 棒鋼の製作

絵図中の「本場」では、「鍛冶」と呼ばれる鍛冶師を囲んだ4名の手子が金床に金槌を振り下ろし、鋼板を鍛造している。また、鍛冶師は、左の火床(ほど)で鋼板を加熱し、鍛造し、さらに右脇の箱の中にある鑿の斧で短冊状に縦に切り、これを棒鋼にしている。「釘・



Fig.6.13 線材製造工程を示す江戸後期の絵図「鍼金職業并諸道具之図」

(山県郡大和村深井家文書「国郡志御編集ニ付書上帖」、広島県立文書館所蔵)

針金等の統制とその沿革」によると、明治 10 年(1877)但馬国濱坂の製線業者は、幅 2 寸、長さ 2 尺内外の大きさの「鉄小長」と呼ばれる鋼板を縦に割って棒鋼にし、これを線引きしている。

ここで、前述した規格表に基づき、棒鋼の直径を推定した。「七ト金」と「五ト金」などの規格品に使用される棒鋼の重さをそれぞれ 30 匁(112.5g)と 35 匁(131.3g)とすると、長さ 1 尺(30.3cm)にしたとき直径はそれぞれ 2 分半(7.75mm)あるいは 2 分 8 厘(8.37mm)と算出できる。よって鍛冶師が素材としての鋼板を作る際には、幅 2 寸、長さ 2 尺、厚さ 2 分半および 2 分 8 厘の鋼板を鍛造で作ったことになる。この鋼板の重さは約 1kg であり、鍛冶作業で取り扱いやすい重さである。この鋼板を縦に割り、棒鋼の先端を細く尖らせ、次の線引き工程に送り、「七ト金」や「五ト金」を製作した。

6.4.3.2 線引き工程

和釘と玉鋼から作った棒鋼を鍛造して線材にする実験では、Fig.6.13 で示すように直径 2mm 以下に鍛造すると割れが入ることが分かった。絵図中の「出シ場」では、「おさ」と称するダイスを用いて冷間で線を絞り、梃子により「ろくろ」と称するロールに巻き付ける方法で、人力で線材を引き抜いている様子が描かれている。「おさ」には多数の穴が開けられており、順次鋼線を細く絞ったことが分かる。ロールには「つけだし」と称する連なった 2 つの鍵が取り付けられており、鍵の先端に「せんだ」と称する治具で鋼線を挟み、ロールの回転と共に鋼線を引っ張る構造になっている。Fig.6.5、Fig.6.6、Fig.6.8 で示したように、草摺、籠手 No.1、籠手 No.2、鎖帷子の鋼の輪に観察される金属組織ではいずれも結晶

粒が縦に伸ばされているが、これは線引き工程による。Fig.6.11(a)、(b)で示す EBSP や〈110〉極点図の結果においても、伸ばされた結晶粒や集合組織など線材が一方向に伸線されたことを示す結果を得た。一方、Fig.6.13(c)、(d)で示すように和釘や玉鋼を熱間鍛造した鋼線の金属組織は、軸方向には伸ばされていない。

以上、鋼線は線引きにより製作されていることが示された。そこで次に線引きによる直径減少率について検討する。Fig.6.10 で示すように、鋼の輪を 700℃で 3 時間焼なました結果、フェライトが再結晶化した。再結晶を起こす臨界加工度は 20~30 % 以上である¹⁰⁾。冷間で人力で線材を引き抜いていることを考慮すると、25%程度の加工度、つまり直径減少率(絞り)44%で線引きしたと仮定できる。

ここで、棒鋼、規格品、1mm 鋼線の線引き回数について線の直径と直径減少率から推定した。「鎧話」には、「七ト金」は「一尺七ト掛けの針金なり」とある。「ト」は「分」のくずし字であり、分には割合の意味がある。「一尺」は 30.3cm で、「七ト掛け」は鋼線を 70%加工すると解釈できる。したがって、「七ト金」「五ト金」の規格品の直径を各々 0.76 分(2.3mm)、1 分 4 厘(4.2mm)とし、直径から線引きの回数を推定すると、規格品の「七ト金」の直径を得るには、棒鋼から 4 回、「五ト金」は 2 回線引きしたことになる。さらにこの規格品の「七ト金」から鎧の鎖の直径 1mm にするためには 3 回線引きし、「五ト金」からでは 5 回線引きしたことになる。

Table 1 に示すように、フェライトの結晶粒のアスペクト比は、楕円形の輪の方が円形より大きい。このことは、規格品の時点で十分焼なまされており、この状態から太さの異なる「五ト金」や「七ト金」の規格品を直径 1mm まで線引きしたことを示している。

また、円形と楕円形の輪でアスペクト比が異なる理由は鋼の輪の使用上の機能の違いにある。鎖中の輪の配列から、楕円形の輪は円形の輪を繋ぐ役割を果たしている。円形の輪は四方から引張られるが、楕円形の輪は一方向に引張られるので引張り強度が要求される。

6.4.3.3 鋼線の焼なまし

草摺、籠手 No.1、籠手 No.2、鎖帷子の金属組織は共通して結晶が鋼線の軸方向に伸ばされ、繊維状になっている。この繊維状結晶は引張り強度を高めている。しかし、線引き後は加工硬化がおこる。よって、次の線引きのためには焼なましを行い、熱処理により線材を軟化させる必要がある。

絵図中の「こすり場」で束ねた鋼線は、「なまし場」に送られる。「なまし場」では手子が左手で轆を操作し、右手に鉄鍵の付いた棒を持っている。鉄鍵には束ねた鋼線が引っ掛けてあり、火床の炭火の上で鋼線を炙って加熱している。軟鋼の冷間圧延における硬さと焼なまし温度の関係¹¹⁾を参考にすると、直径減少率(絞り)44%の場合、焼なまし温度は約550℃と推定される。本試料のようなたたら製鉄により製造された鋼線は、Fig.6.5、Fig.6.6、Fig.6.7に示すように炭素濃度が不均一で、Fig.6.9に示すように非金属介在物も多く含むため、線引き工程において断線しやすい。よって手子は、鉄の表面の色を観て熱処理温度を判断および設定する必要がある、絵図では「なまし場」は奥まった暗い場所にある。また、焼なました鋼線は壁の柱に打ち付けた「さまし釘」に掛けてある。

6.4.4 鎖の製作方法

鎖は、線引きして得た鋼線を棒鋼に巻きつけ、これを切断することで量産する。「鎧話」には、鎖製作の際の工具として、断面が円形、楕円形、また三角形の棒鋼が描かれている。このことから、製作する輪の形状により棒鋼を選んだ。円形と楕円形の「喰合せ」の輪の場合は、それぞれ円形と楕円形の棒鋼を使用した。鋼線を棒に巻きつけると弾力を持っているため少し膨らむ。これを棒鋼から抜き取り、鑿で線を切断して輪を作り、ヤットコで修正して「喰合せ」にした。また、籠手 No.2 に使用されたような一部が二重になった楕

円形の「標返し」の輪は、三角の棒鋼に巻きつけて鑿で切断し、ヤットコで二重に合わせて楕円形にした。Table 4 で示すように鋼線の硬度は焼なまし材より大きい。また Table 5 で示すように鋼線の表面近傍には残留応力が残っていることから、切断し輪にした後は焼なましは施していない。

「鎧話」では、このように円形と楕円形の輪を製作し、円形の輪に楕円形の輪を引っ掛けヤットコで綴じる。この作業を繰り返して 2 列の梯子型とし、6 尺の長さに繋げた。これらを籠手に取り付けた。また、草摺では、円形の輪を楕円形の輪で繋いだ鎖を作り、さらに円形の輪に小札の孔を楕円形の輪で繋いでいる。鎖帷子は、2 列の梯子型の鎖を円形の輪で繋いで作られている。いずれの鎖も最後に、漆が塗られている。

6.5 結言

室町時代末期から江戸時代に製作された鎧に用いられた鎖の製作方法を調べた。鋼線は、平均炭素濃度 0.11mass% から 0.40mass% の鋼を用いている。それぞれの鋼の素材は 2 回程

度の折返し鍛錬を施し、素材の鋼板を作っている。鋼板から棒鋼を切り出し、ダイスにより線引きして規格品の鋼線を作った。この規格品をさらに数回線引きし、鎧の鎖用の直径約 1mm の線材にした。線引き工程では、焼なましが行われている。鋼線は鎖の形状に合わせた棒鋼に巻きつけ、鑿で切り、輪にして鎖に組み上げた。最終加工において焼なましは施されていない。

本章は、「江戸時代の鎧に用いられた鎖の製作方法」（日本金属学会誌、2014, 78-4, pp. 149-158）を一部修正したものである。

文献

- 1) 笹間 良彦. 日本の甲冑武具事典. 柏書房, 東京, 1981.
- 2) ルードウィヒ・ベック著, 中沢 護人訳. 鉄の歴史. たたら書房, 東京, 1977, 1(3), pp.209-213.
- 3) 宋 応星著, 藪内 清訳. 天工開物. 平凡社, 東京, 1969 pp. 209-213.
- 4) 日本産業新聞社編. 近代日本の伸銅業. 日本産業新聞社, 東京, 2008, pp.46-57.
- 5) 東北大学編. 鉄鋼顕微鏡組織. 丸善, 東京, 1972.
- 6) 日本金属学会編. 金属便覧. 丸善, 東京, 1952.
- 7) 俵 國一. 日本刀の科学的研究. 日立評論社, 東京, 1953.
- 8) 松原 佐久. 鎧話. 1885.
- 9) 松井 編. 釘針金などの統制とその沿革. 日本線材品統制, 東京, 1942, pp.68-69.
- 10) 北田 正弘. 初級金属学. 内田老閣舗, 東京, 2006, pp.117-118.
- 11) 日本金属学会編. 金属便覧 (第5版). 丸善, 東京, 1990, pp. 520-522.

第7章 漆による鋳鋼板の加飾と防食

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

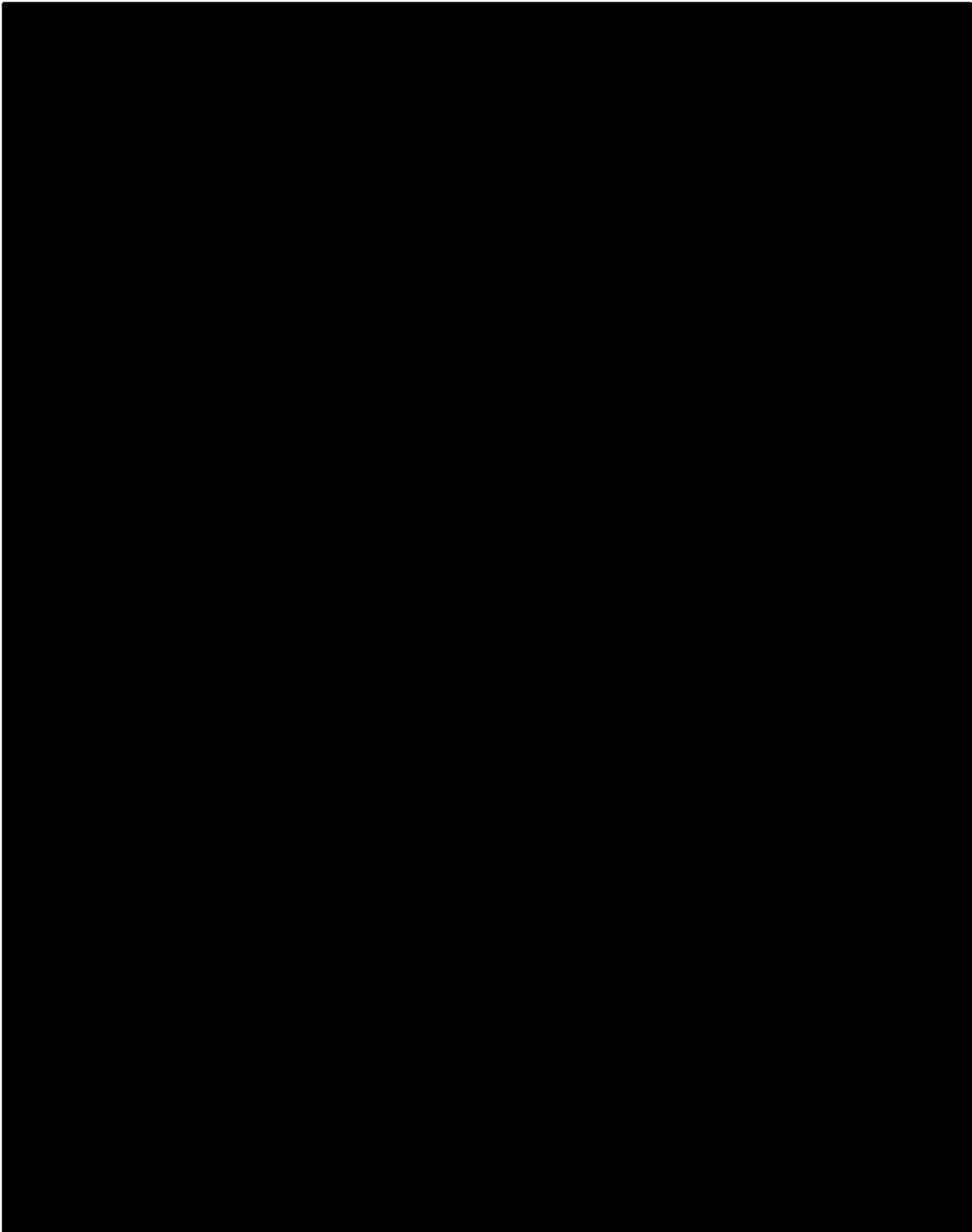
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

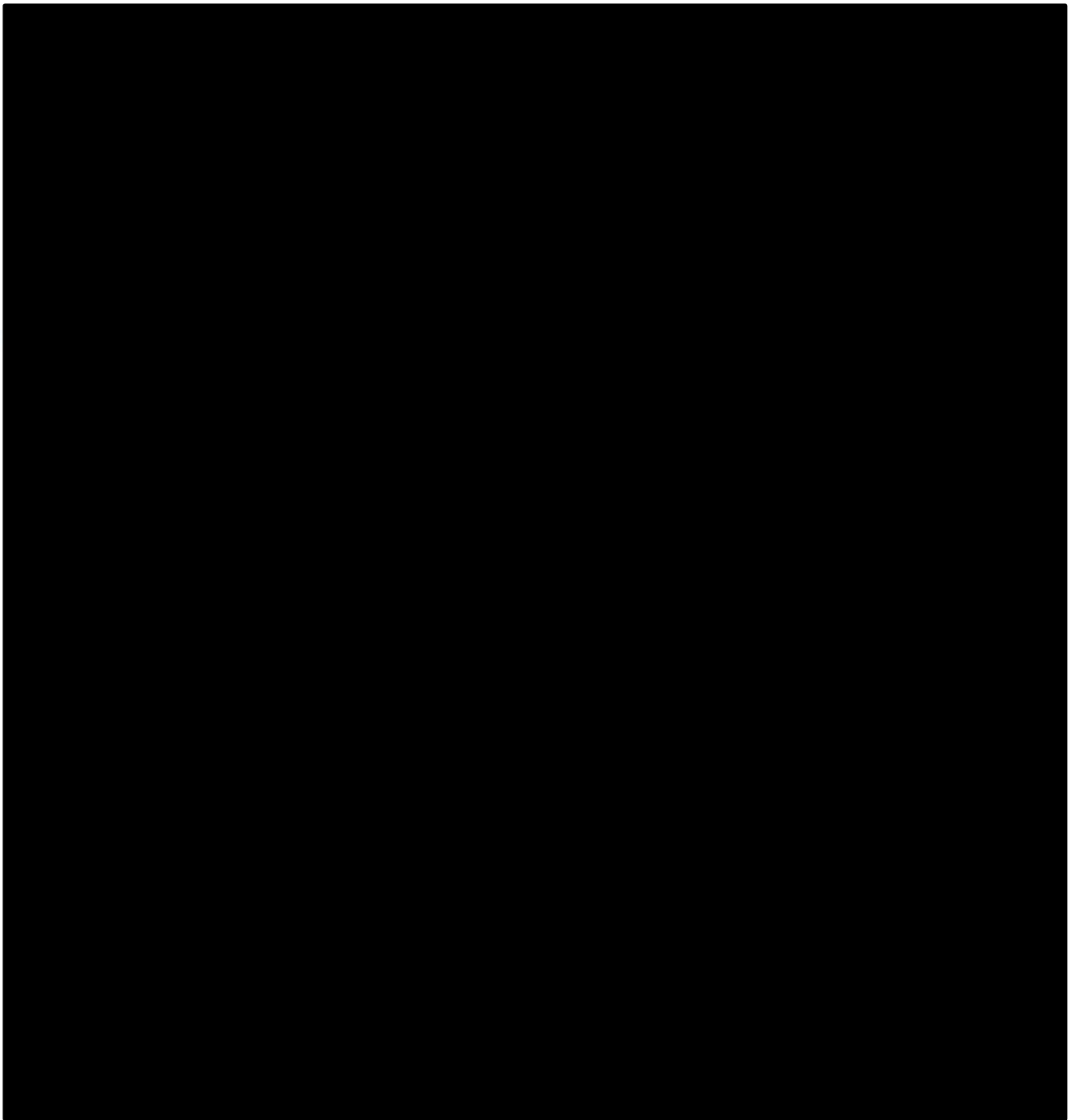
[REDACTED]



[Redacted]

[Redacted]

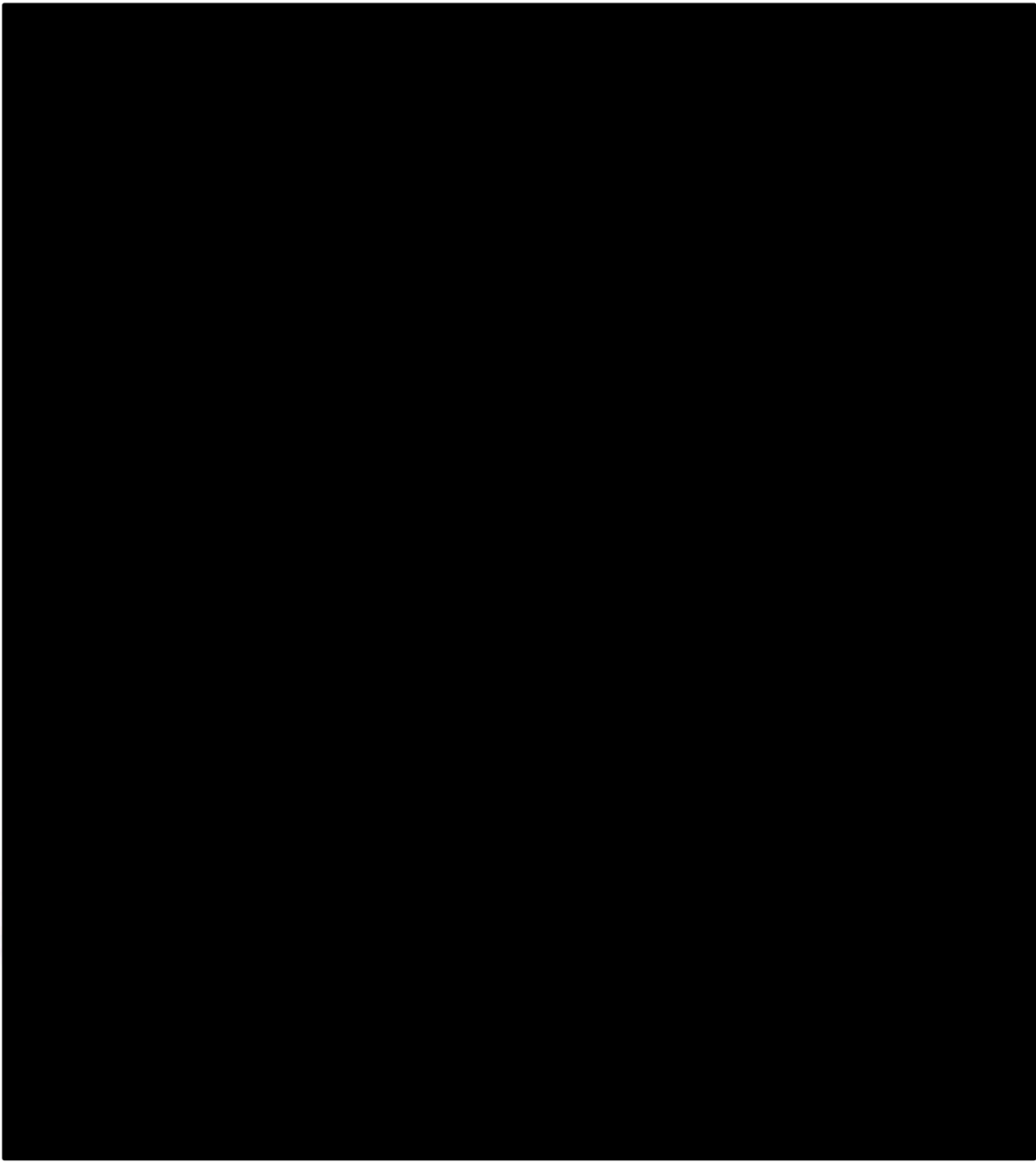
[Redacted]



[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

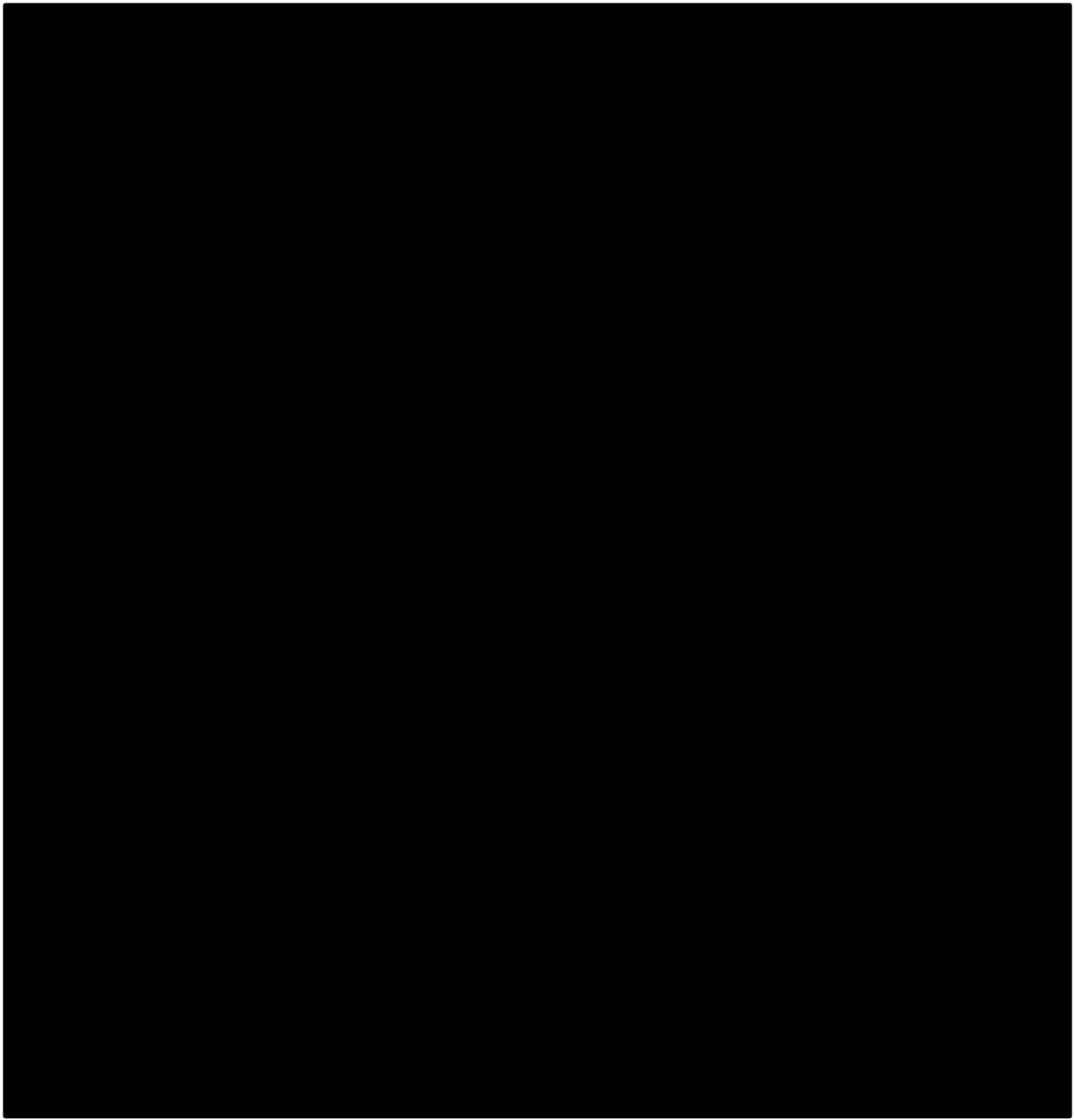
[Redacted line of text]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

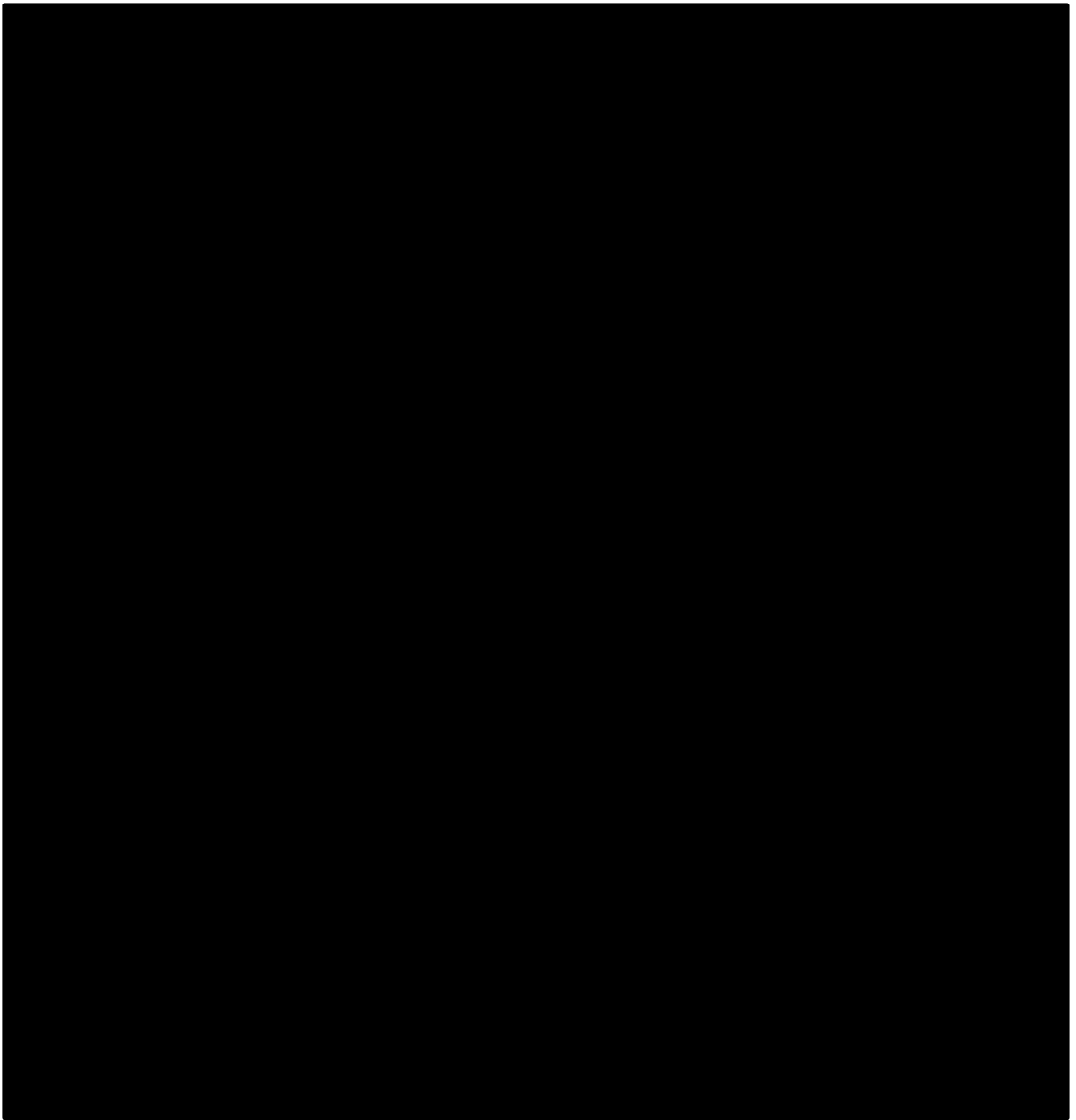
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted text]

[Redacted text]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

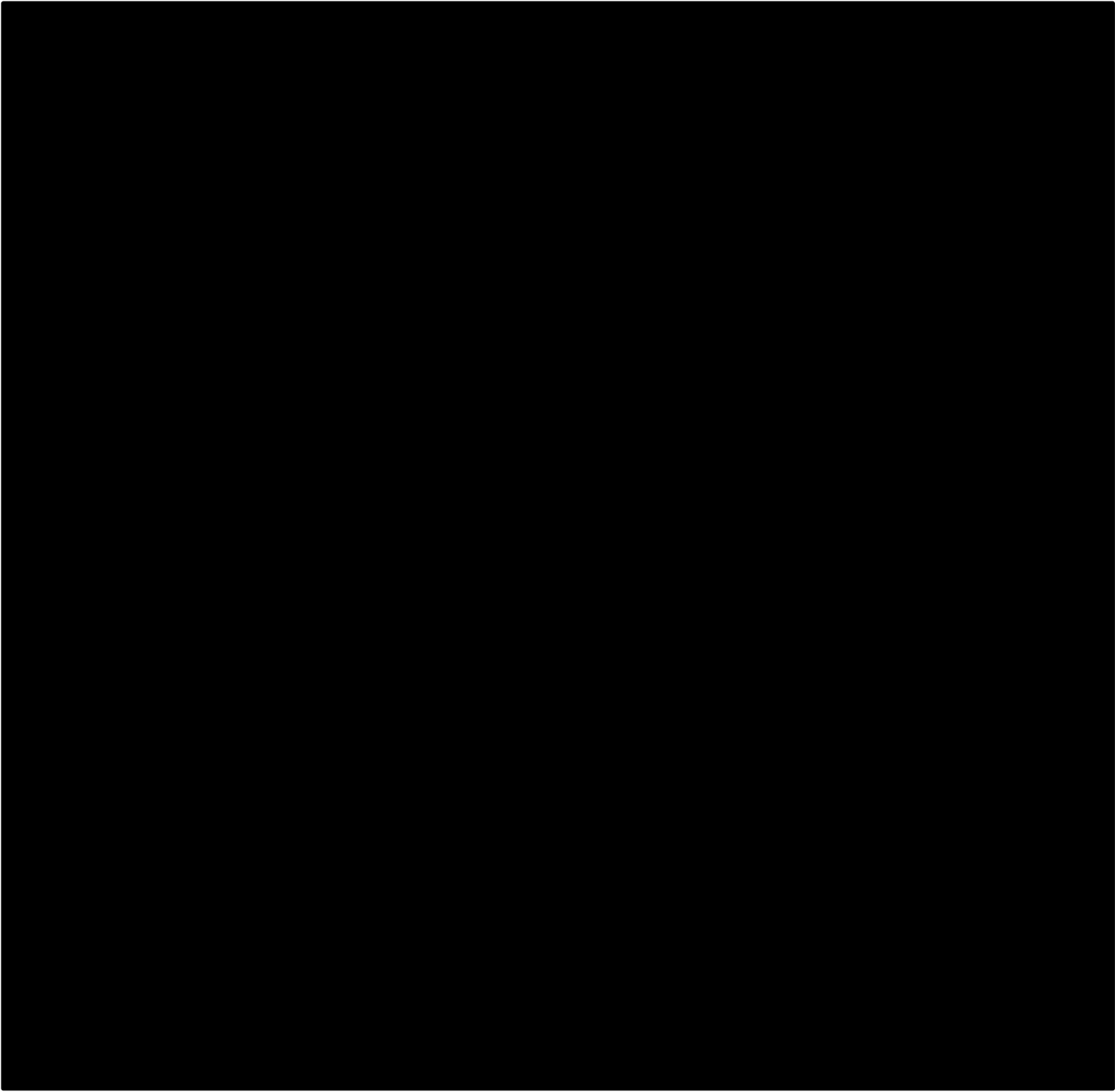
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]		[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]



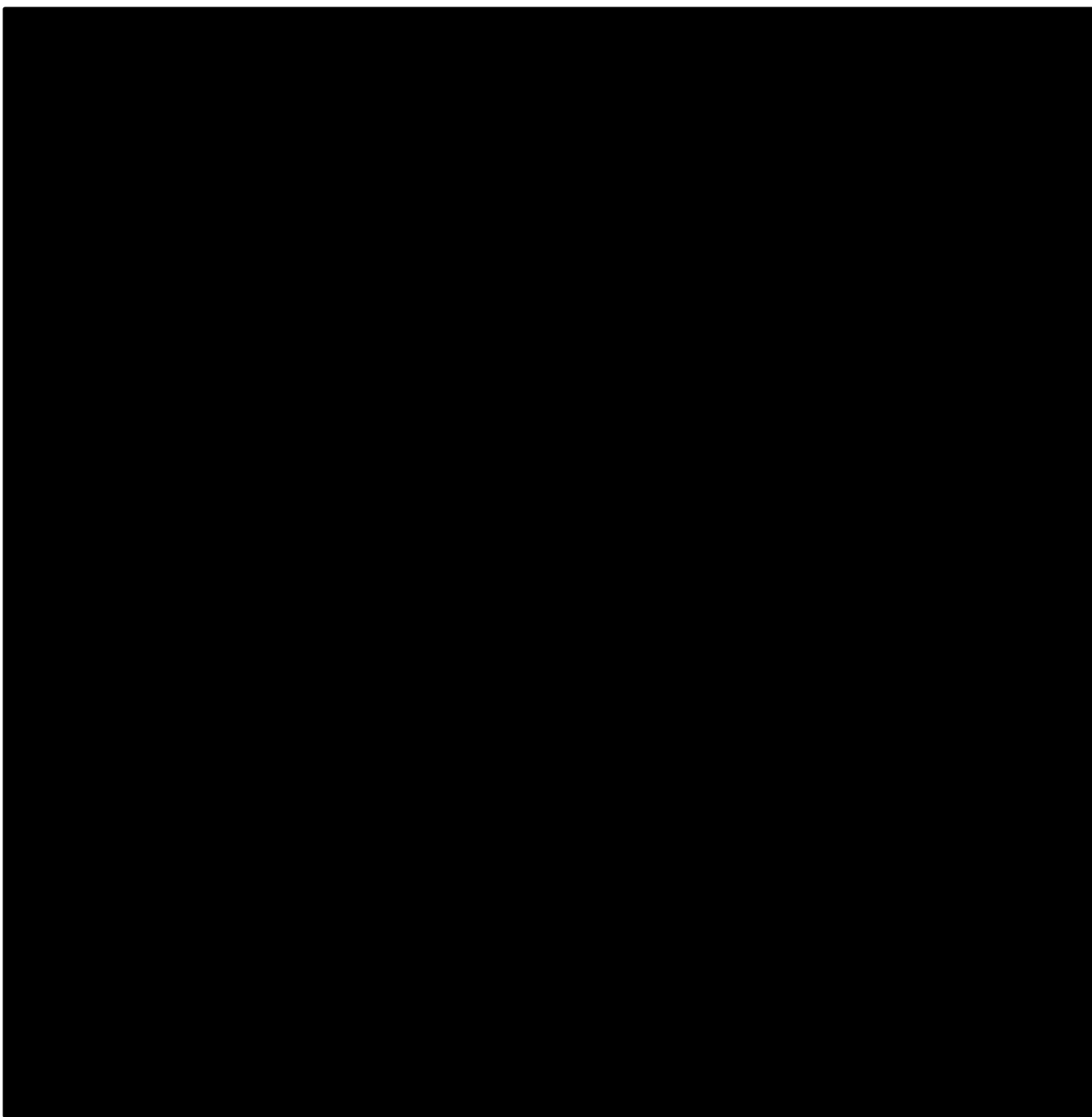
[Redacted text]

[Redacted text]

[REDACTED]

[REDACTED]

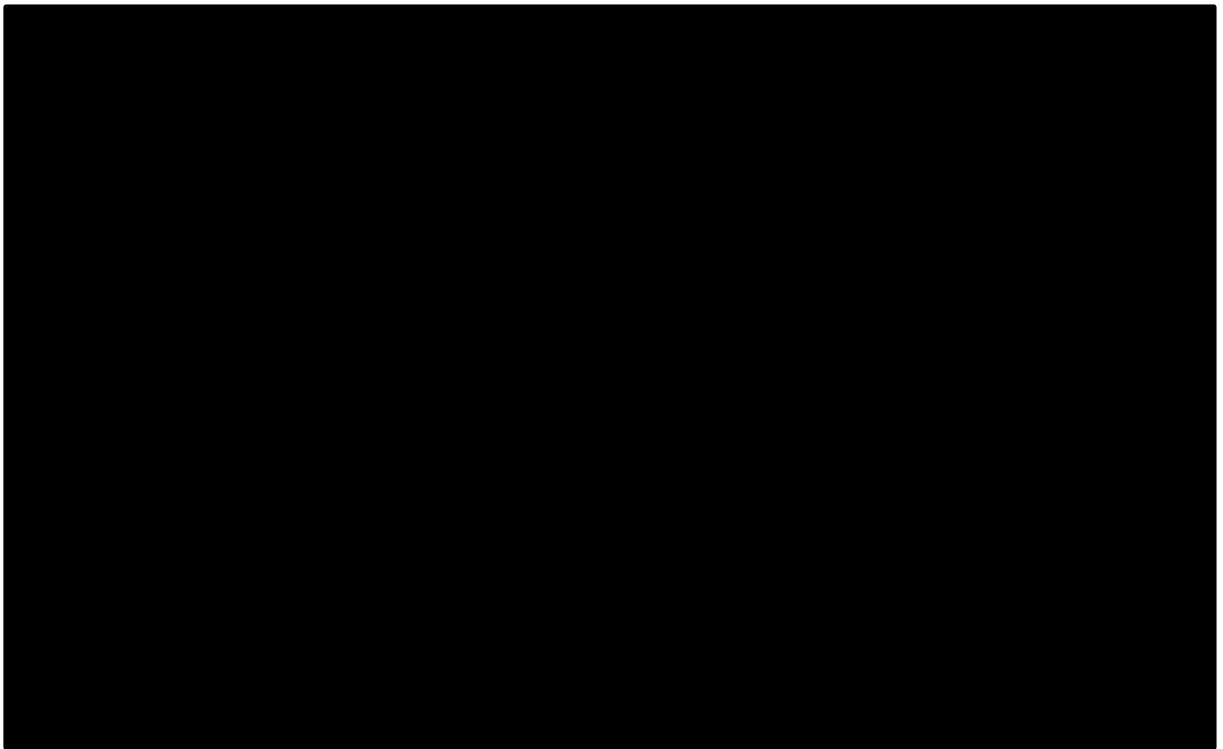
[REDACTED]



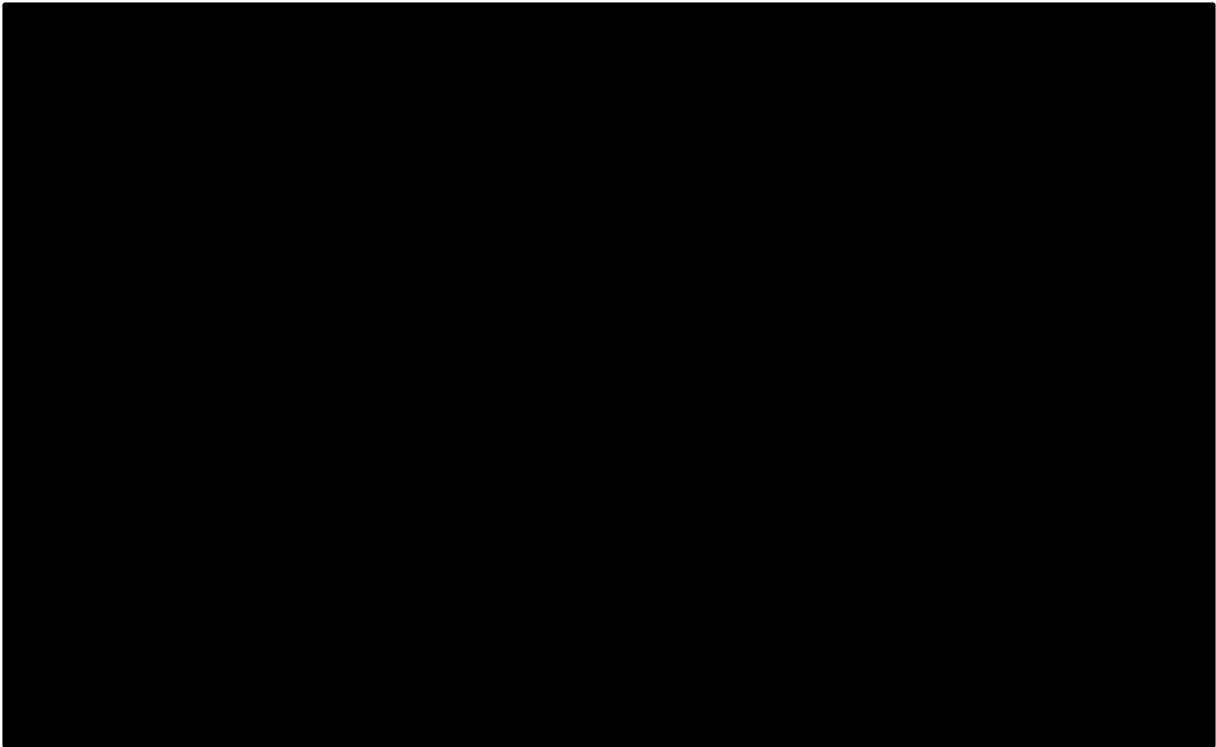
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]								
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■



[REDACTED]				
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

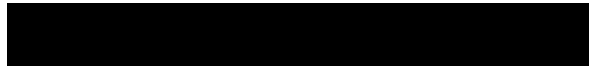
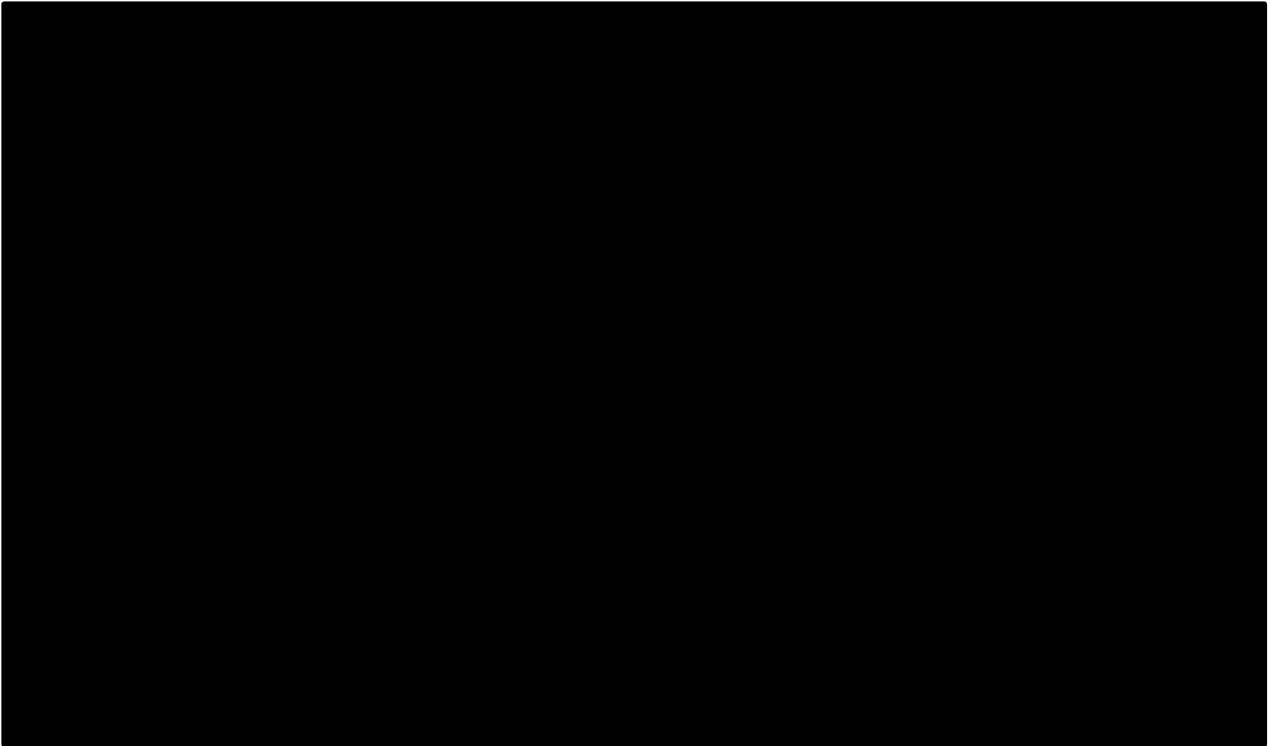
[REDACTED]

[REDACTED]

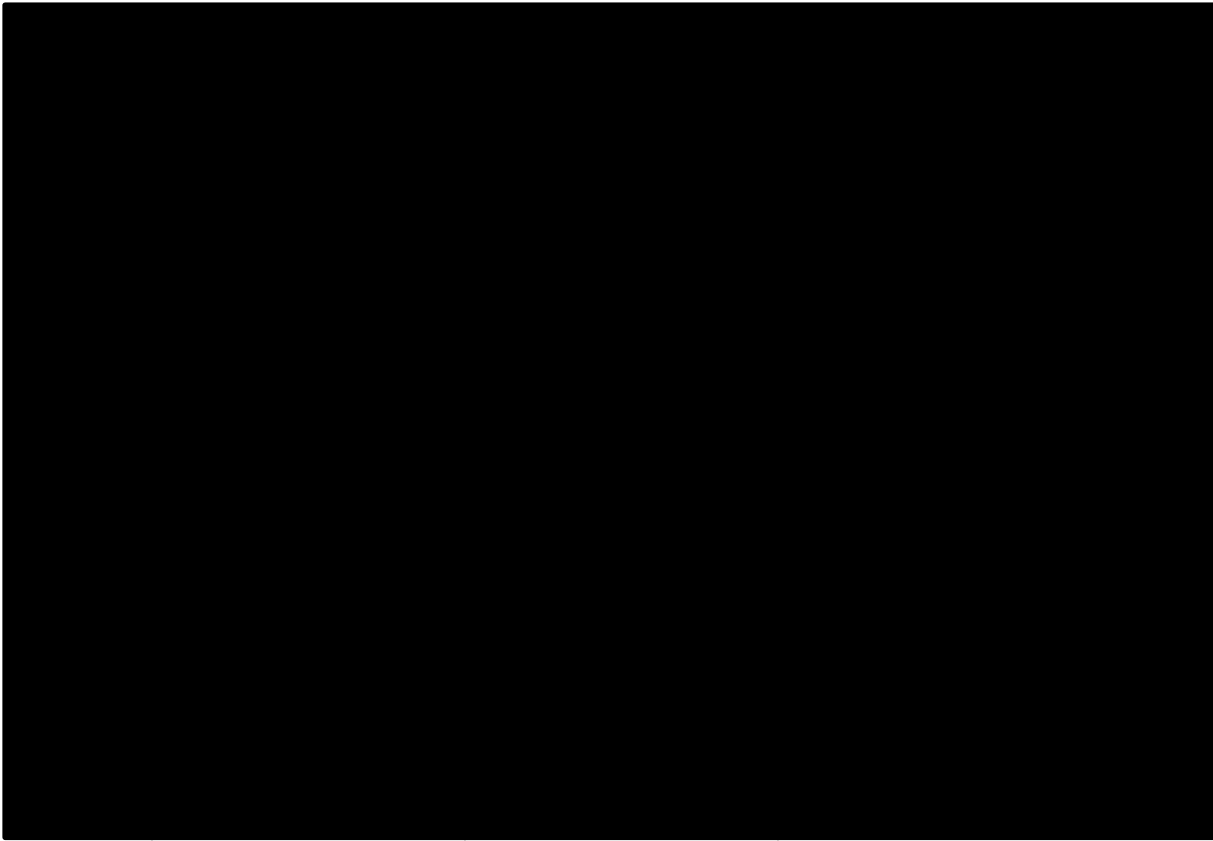
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]							
■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■



[Redacted]					
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

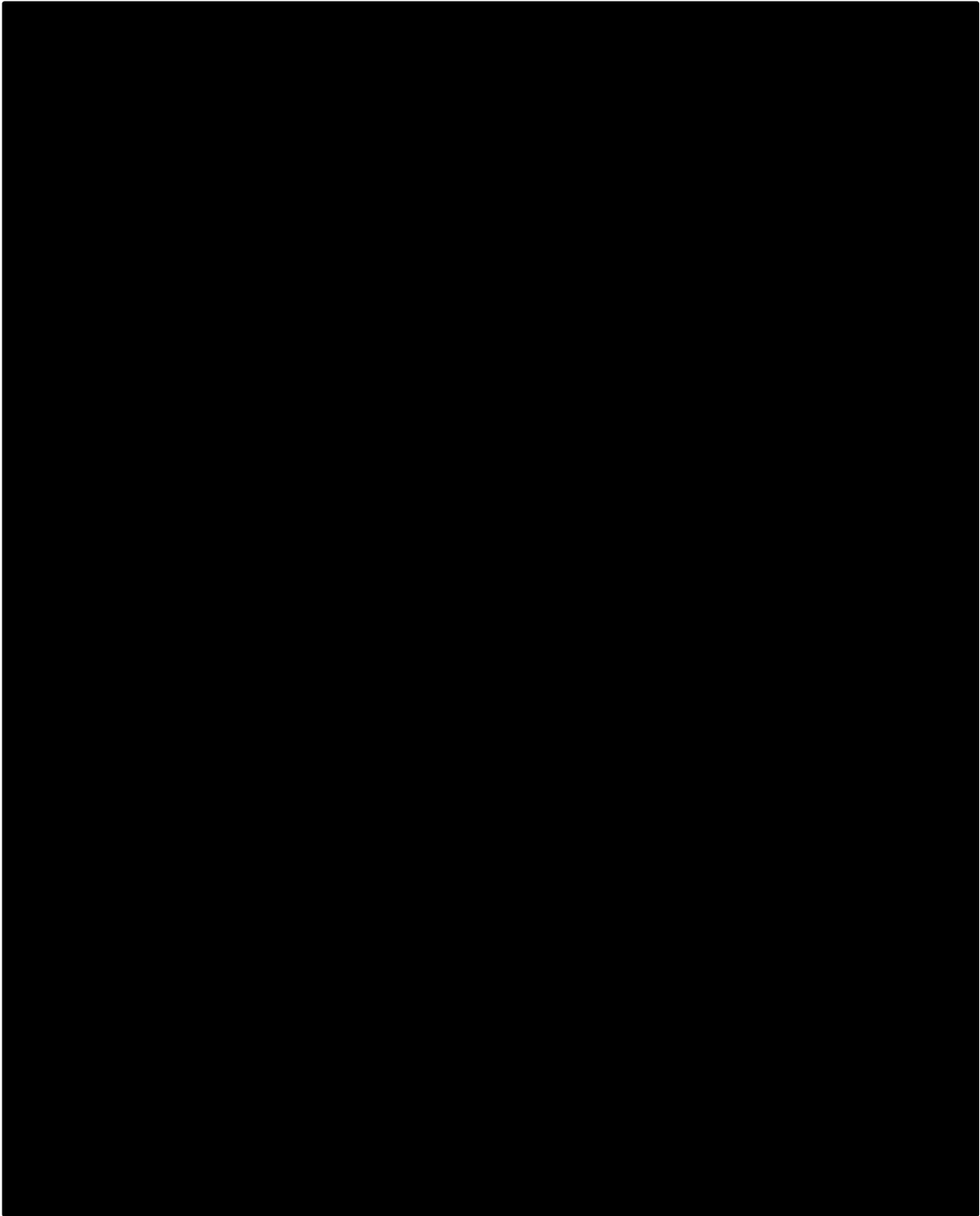
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

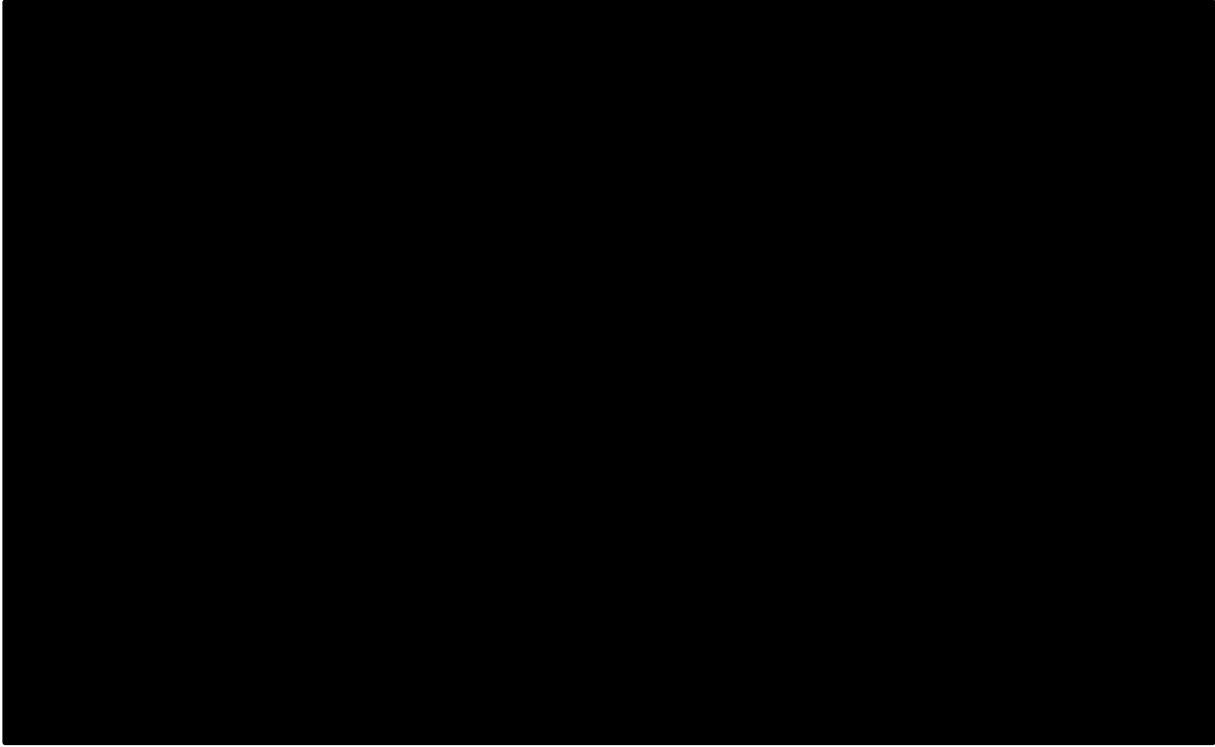


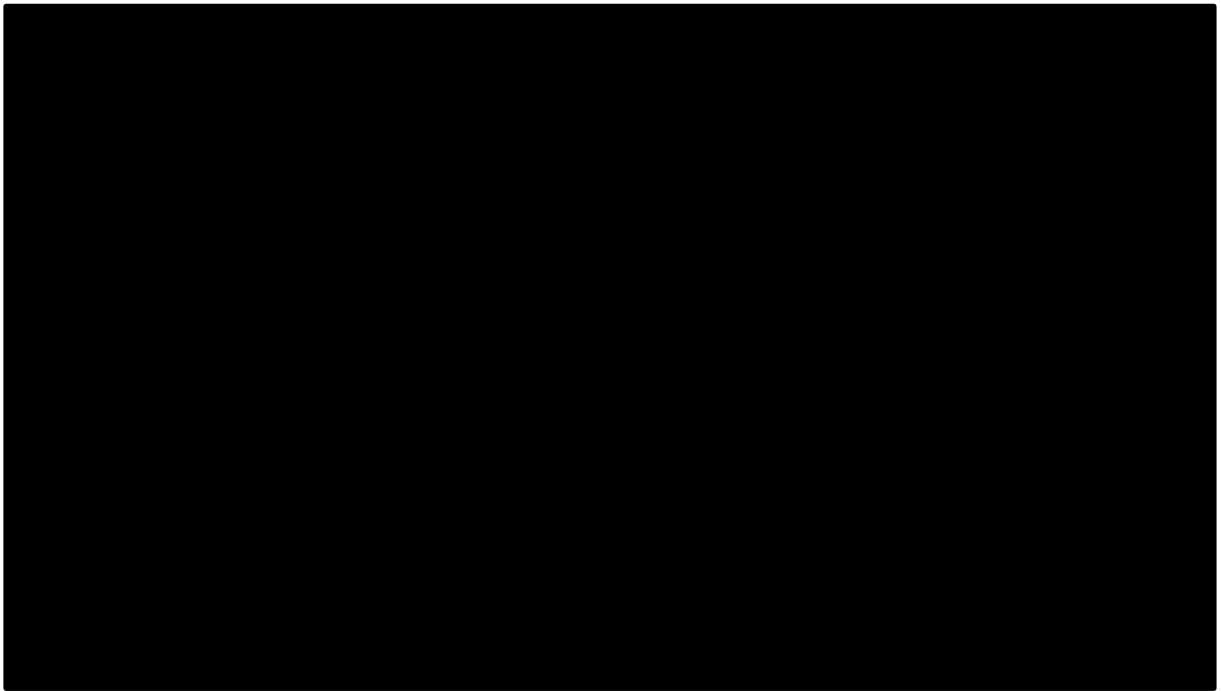
[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]







[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

第8章 総括

8.1 本研究の目的

本研究では、鎧に用いられた鋼板や鋼線の材料や製作方法を明らかにすることを目的とした。まず、鉄鋼材料の素材となる和鉄の鍛接機構を明かし、和鉄の特徴を把握した。次に、形式より室町時代末期から江戸時代のものと判断される鎧に用いられている鋼板や鎖鋼線について、使用材料や製作方法を明らかにした。鋼板に関しては、複数部位の鋼板を調べ、使用材料や製作方法に関する部位による傾向も調べた。また、塗装が施されている鋼板については、加飾方法について明らかにし、その防食効果について検討した。以下、各章で明らかにした点をまとめる。

8.2 本研究の結果

[Redacted content]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

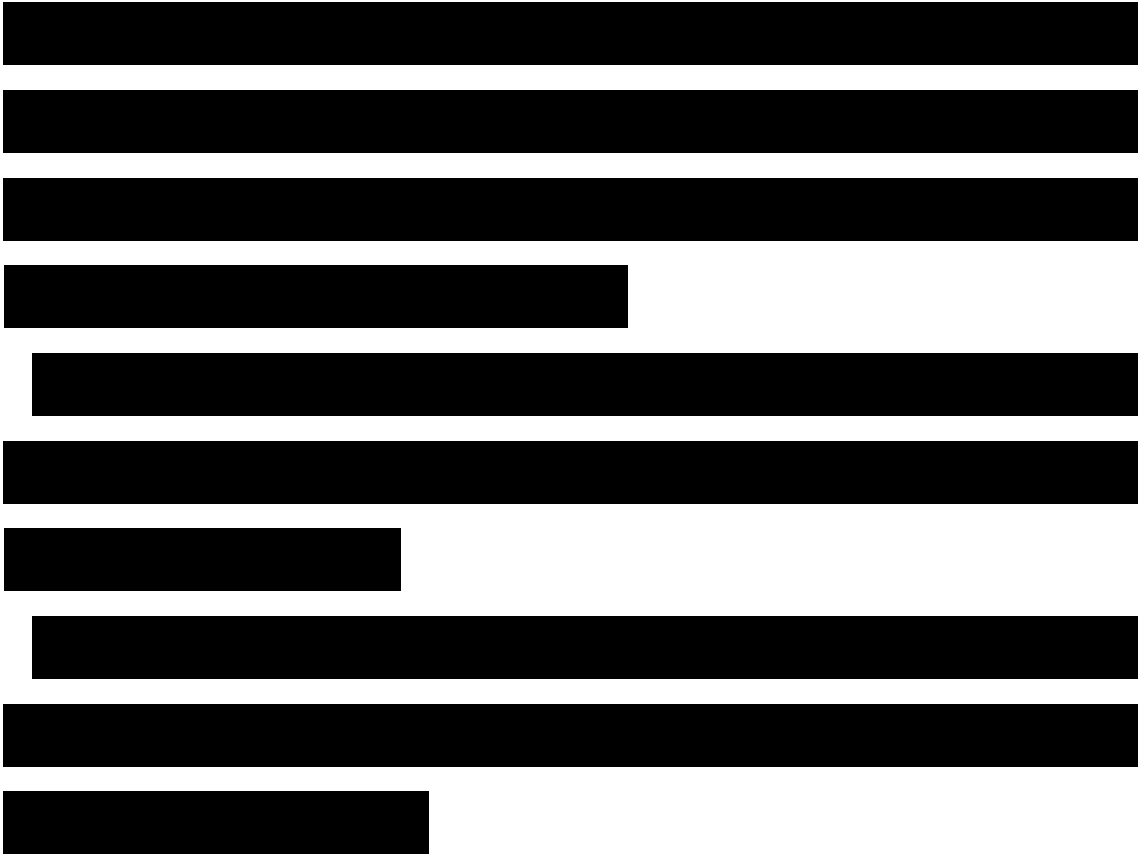
8.3 まとめ

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



8.4 本研究の保存科学的意義

本研究では、これまで文献調査が主体であった日本の鎧について、室町末期から江戸時代に製作された研究試料を自然科学的な手法を用いて調査し、特に、実験で再現を行って比較試料を作製することにより、用いられている使用材料や製作方法を明らかにした。このことは、文化財の保存に関する科学的な研究として新しい手法を提示するものである。

謝辞

本研究にあたり、ご指導賜りました東京藝術大学大学院 美術研究科 文化財保存学専攻 永田和宏教授に深く感謝の意を表します。また、試料を提供していただくとともにご指導をいただきました東京藝術大学 北田正弘名誉教授に深く感謝いたします。本研究を進める過程でご指導、ご鞭撻いただきました東京藝術大学大学院 美術研究科 文化財保存学専攻 桐野文良教授に感謝申し上げます。同時に、本論文をまとめるにあたりご指導いただきました東京藝術大学大学院 美術研究科 文化財保存学専攻 稲葉政満教授、木島隆康教授、東京藝術大学 美術学部工芸科 前田宏智准教授に深く感謝いたします。

また、本研究を進めるにあたりご協力を賜りました、東京工業大学大学院 物質科学専攻 林幸准教授、渡邊玄氏、辻貴子氏に御礼申し上げます。応力測定にご協力いただいた(株)リガクの横山亮一氏、根津暁充氏に御礼申し上げます。参考試料の作製にご協力いただき、さらに試料をご提供いただきました明珍宗理氏、参考試料作製にご協力いただいた松田次泰刀匠、河内國平刀匠に深く感謝いたします。研究を遂行するにあたり、ご協力、ご指導いただいた東京藝術大学大学院 保存科学研究室の皆様にも深く感謝申し上げます。

また、本研究の一部は、日本学術振興会の特別研究員科学研究費補助金（5506）により行われました。記して感謝いたします。

研究業績

【投稿論文】

1. 永田 和宏, 渡邊 玄, 釘屋 奈都子. 炎中の火花「沸き花」発生を鍛接開始の指標とする和鉄鍛接機構. 鉄と鋼. 2011, 97-12, pp. 637-644. (博士論文第 2 章)
2. 釘屋 奈都子, 永田 和宏, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代の草摺に用いられた小札の鋼板製作方法. 日本金属学会誌. 2013, 77-8, pp.318-327. (博士論文第 4 章)
3. N.Kugiya, M.Kitada and F.Kirino. Microstructure and Nonmetallic Inclusions of Steel Used for Japanese Armature in the Edo Period. CAMP-ISIJ Int. 12. 2011, 24, pp.1109-1112. (博士論文第 5 章)
4. 釘屋 奈都子, 永田 和宏. 江戸時代の鎧に用いられた鎖の製作方法. 日本金属学会誌. 2014, 78-4, pp. 149-158. (博士論文第 6 章)
5. 稲葉 政満, 桐野 文良, 釘屋 奈都子, 實井 香那子, 甲斐 由香里. 平等院鳳凰堂ベンガラ系塗料の耐光性に関する研究(2)新たなベンガラ系塗料の耐光性試験と鐘楼での屋外暴露試験. 鳳翔学叢. 2010, 6, pp.153-170.

【学会発表】

1. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代の鎧に使われた鋼の金属組織観察.
日本金属学会第 144 回春期大会, 2009 年 3 月 28 日
2. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 鎧に使用された鋼の金属組織学的研究.
第 9 回東京芸術大学保存科学研究室発表会, 2009 年 10 月 16 日

3. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代の鎧に使用された骨牌札の金属組織.
日本金属学会第 146 回春期大会, 2010 年 3 月 28 日
4. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代製鎧の骨牌札に使われた鋼板の金属組織. 文化財保存修復学会第 32 回大会, 2010 年 6 月 13 日
5. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代に製作された鎧の籠手部分の金属組織.
第 10 回東京芸術大学保存科学研究室発表会, 2010 年 11 月 18 日
6. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代に製作された籠手に用いられた鋼板の金属組織. 日本金属学会第 148 回春期大会(中止), 2011 年 3 月 26 日
7. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代に作られた鎧籠手鋼板の金属組織と非金属介在物. 文化財保存修復学会第 33 回大会, 2011 年 6 月 4 日
8. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. Microstructure and Nonmetallic Inclusions of Steel Used for Japanese Armature in the Edo Period. 日本鉄鋼協会第 162 回秋季大会国際セッション, 2011 年 9 月 22 日
9. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代の鎧に使用された骨牌札の金属組織.
第 11 回東京芸術大学保存科学研究室発表会, 2011 年 10 月 20 日
10. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 江戸時代に製作された籠手の鋼板中に見られる非金属介在物. 日本金属学会第 149 回秋期大会, 2011 年 11 月 7 日
11. 釘屋 奈都子, 北田 正弘, 桐野 文良. 草摺に用いられた鋼板の作製方法.
日本鉄鋼協会第 165 回春季大会, 2013 年 03 月 28 日