

畜舎内の腐食ガス環境下における鋼材の腐食に関する研究

Study on Corrosion of Steel Products under Corrosive Gas in Barn

前田 憲太郎* 高橋 圭二** 齋藤 繁*** 田沼 吉伸* 見山 克己***

Kentaro Maeda, Keiji Takahashi, Shigeru Saito
Yoshinobu Tanuma and Katsumi Miyama

概要

本稿では、畜産関連施設のようなアンモニア等の腐食性ガス環境下および高湿環境における鋼材の耐久性について確認するため、酪農学園大学のふん尿処理施設および牛舎にて行っている鋼材の曝露試験について報告する。曝露している試料は、鋼材の仕上げが異なる 7 種類計画した。曝露は 2016 年 5 月 10 日より開始し、適宜、現地での定期的な測定および回収し詳細な分析を行った。曝露期間 945 日（2 年 7 ヶ月程度）までの測定結果より、塗装などの仕上げを行わなかった試料については、さびが発生し腐食が進行しているが、建築分野で用いられる一般的な塗装や溶融亜鉛めっきが施された試料については、腐食はほとんど確認されなかった。

1 はじめに

酪農の盛んな北海道において、畜産関連施設は多く建設されている。このような建物を建設する際、建物内の環境はアンモニア等の腐食性ガスの影響や高湿環境が想定されることから、構造材および内外装材の腐食は一般的な建物に比べ進行が速いことが考えられる。

筆者らは、2010 年に北海道内外の鋼構造による畜舎について、設計図書を収集し、建物規模や構造部材について調査を行った¹⁾。その結果、北海道は他の地域に比べ、単位面積あたりの構造材重量が大きくなること、使用部材の表面仕上げは他地域では溶融亜鉛めっきが多いが北海道では防錆塗装とすることが多いことを把握している。単位面積あたりの構造材重量が大きい要因としては積雪の影響が大きい地域であるため構造材の断面が他地域に比べ大きくなること、防錆塗装が多い要因としては構造材の単位重量の多さから建築コストを抑えるため溶融亜鉛めっきを避けていることが考えられる。

鋼材の耐久性は防錆塗装に比べると溶融亜鉛めっきとする方が高いが、高湿かつアンモニア等の濃度が高い場合、どの程度影響を受けるか実際に暴露

し確認した例は見られない。

筆者らは、畜舎環境において鋼材の表面仕上げが腐食状況にどのような影響を与えるか検討するために畜舎環境下での鋼材暴露試験を行っており、暴露後 6 か月までは試験片に腐食はほとんど見られないことを報告している²⁾。

本稿では、文献 2)にて行っている暴露試験について、2 年 7 か月まで行った結果について報告する。なお、本研究は、北科大寒地先端材料研究所と酪農学園大学との共同研究により進めている。

2 研究方法

2.1 試験片

試験片の概要を表 1、図 1 に示す。試験片の変数は、表面仕上げの違いとし、7 種類計画した。試験片の母材はいずれも SS400 材であり、試験片は板厚 2.3mm、幅 50mm、長さ 150mm とし、上下に直径 13mm の試験枠への取り付け孔を設けた。表面仕上げは、試料番号 1 は表面仕上げなしで黒皮のまま、試料番号 2, 3 は表面を合成樹脂調合ペイント (JIS K 5516) 塗装とするが、2 は母材の素地調整なし、3 はブラスト処理により素地ごしらえを行った。試料番号 4 から 7 は溶融亜鉛めっき (HDZ40) とし、5 は

*北海道科学大学寒地先端材料研究所 工学部建築学科

**酪農学園大学農食環境学群循環農学類

***北海道科学大学寒地先端材料研究所 工学部機械工学科

めっき上に鋼構造物用耐候性塗料(JIS K 5659) , 6, 7は高力ボルト摩擦接合とする場合を想定した摩擦面処理を施すため, 6 はブラスト処理, 7 は薬剤処理とした.

各仕上げについて, 暴露期間 5 種類, 設置箇所 2 箇所, 初期試験片各種測定用 1 個の計 11 個作製し, 暴露試験を行っている. 試験片は試料番号 1~5 を 1 つのグループとして, グループ No.を 0 から 10 まで付し, 識別する. グループ 0 は初期状態観察用,

グループ 1~10 は, 写真 1 に示すように木材の試験枠にパッキンを介して木材と接触しないように取り付け暴露した. なお, 表 1 中の資料番号 6, 7 は, 1 体ずつ作製した.

2.2 試験方法

試験片は酪農学園大学内のふん尿処理施設(以下, 処理施設)および牛舎にて暴露を行った. 暴露状況は写真 2 に示すように 5 グループごとに試験枠が水平になるようにまとめ, 写真 3 のようにグループ 1

表 1 試験片概要

試料番号	母材表面素地	表面仕上げ方法
1	黒皮のまま	なし
2	素地調整なし	塗装 JIS K 5516(2種)
3	ブラスト処理	
4		なし
5	溶融亜鉛めっき	塗装 JIS K 5659(2種)
6	HDZ40	ブラスト
7		薬剤処理

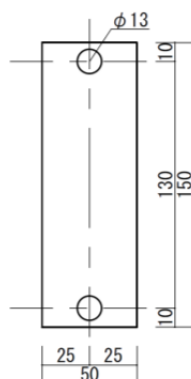


図 1 試験片寸法

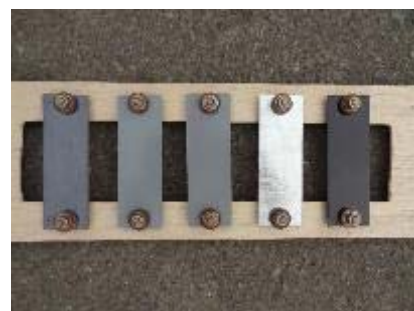


写真 1 試験枠設置状況



写真 2 試験枠の暴露直前状況



(a)処理施設



(b)牛舎

写真 3 暴露状況

表 2 資料グループと暴露日数

測定または 回収日付	暴露 日数	現地測定グループ		回収測定グループ		備考
		処理施設	畜舎	処理施設	畜舎	
2016/5/10	0	5	10	-	-	
2016/6/10	31	5	10	-	-	
2016/7/8	59	5	10	-	-	
2016/8/5	87	5	10	-	-	
2016/9/16	129	5	10	4	9	
2016/10/11	154	5	10	-	-	
2016/11/10	184	5	10	-	-	
2017/1/10	245	5	10	-	-	
2017/3/22	316	5	10	-	-	
2017/5/19	374	5	10	3	8	
2017/9/14	492	5	10	-	-	
2017/11/14	553	5	10	2	7	
2018/1/16	616	5	10	-	-	
2018/3/26	685	5	10	-	-	現地測定は, 測定機器の不具合により, 一部の試料のみ行った.
2018/8/10	822	5	10	-	-	現地測定は, 測定機器の不具合により, 外観写真撮影のみ行った.
2018/12/11	945	5	10	1	6	

～5を処理施設，グループ6～10を牛舎の天井付近（それぞれ地上から約3mと約5m）に設置した。試料6および7は処理施設に暴露する。

暴露後，表2に示す日数にて試料の各種測定を行う。現地測定グループ（グループ5，10）は，曝露

場所から試料を一度外し，表面の外観写真撮影（をデジタルカメラ），試料表面の光沢度，膜厚（電磁誘導式），化学組成（蛍光X線測定装置）を表2に示す日に測定し，測定後は曝露場所に戻す。回収測定グループは，暴露後6ヶ月程度を目安に回収し，

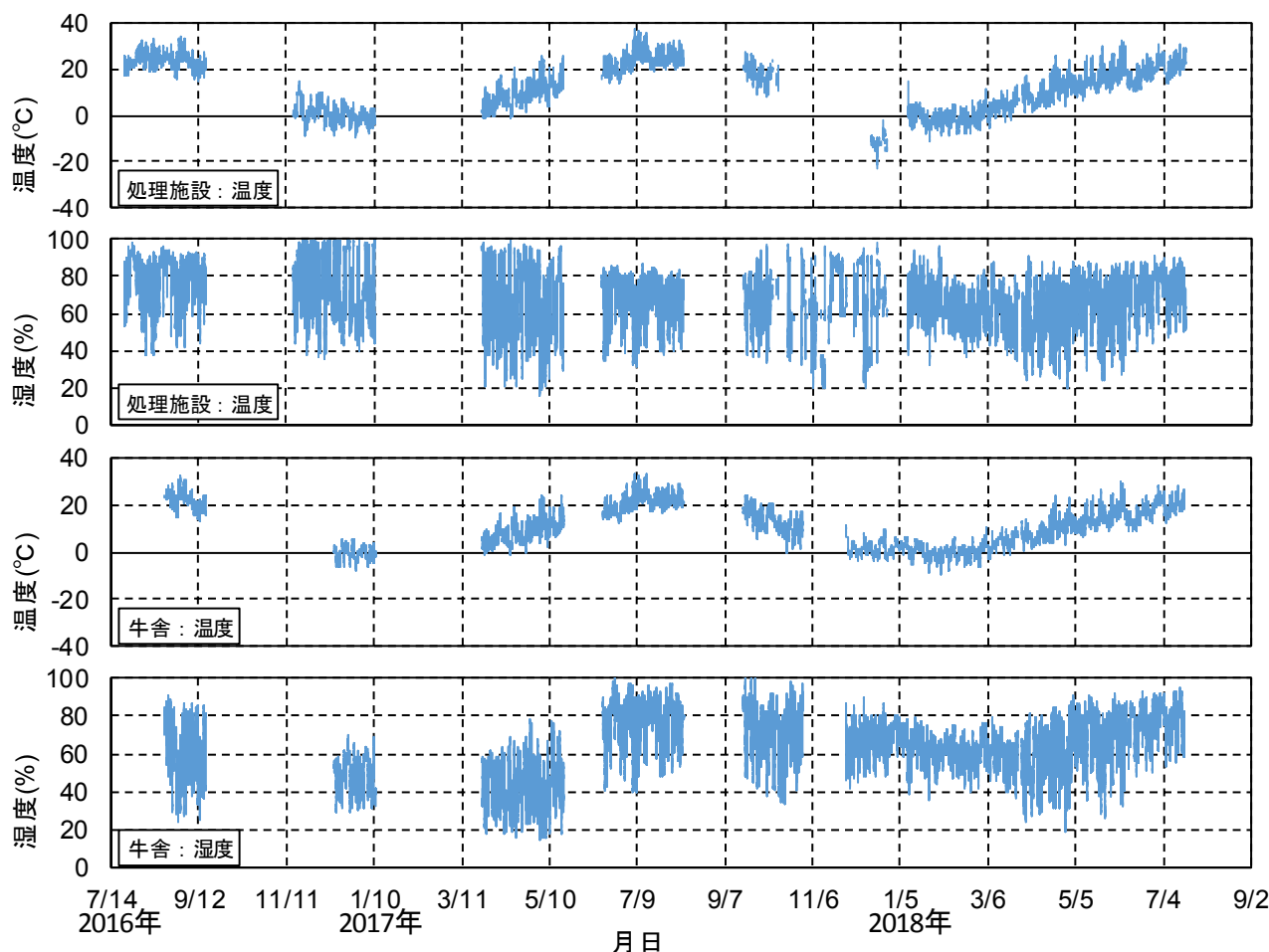


図2 温度，湿度の測定結果

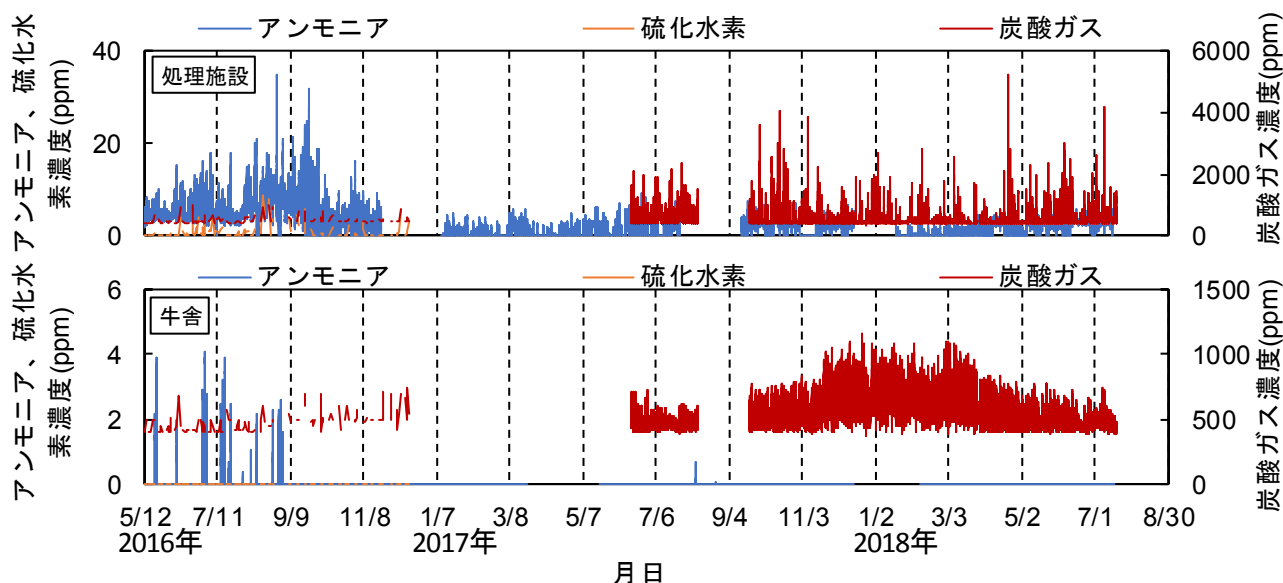


図3 アンモニア，硫化水素，炭酸ガスの濃度の測定結果

現地測定グループと同様の測定を行うとともに、デジタルマイクロスコープ（VHS-2000）による表面の詳細な観察や試料を切断し断面の観察などを行う。

暴露期間中、設置場所の温度、湿度、炭酸ガス濃度、アンモニア濃度、硫化水素濃度を計測している。測定は、暴露位置での計測機器による常時計測（アンモニア濃度、温湿度、2017年6月14日以降の炭酸ガス濃度）および地上1.5m程度でのガス検知管による計測（平日日中1回、アンモニア、硫化水素、炭酸ガス濃度、2017年1月5日まで）である。

3 結果および考察

暴露開始後945日の平成30年12月11日（約2年7ヶ月間）までの現地測定が終了しており、その状況を報告する。

3.1 暴露環境

暴露環境について把握するため、処理施設、牛舎それぞれの環境について測定結果を示す。暴露位置での温度、湿度を図2に、暴露位置でのアンモニア、炭酸ガス（2017年6月14日以降）および地表から1.5mでの硫化水素、炭酸ガス（2017年1月5日まで）の濃度を図3に示す。装置の不具合によりアンモニア濃度、温度、湿度それぞれに欠測期間が存在するが、計測できた範囲で暴露環境の傾向を把握することとする。

温湿度は、処理施設では夏場は温度20～30度程度、冬場は-20度程度まで下がっているが、湿度は80～100%近くになる日が多く見られる。牛舎では温度の傾向は処理施設と同じであるが、湿度は夏場で90%程度、冬場で70%程度と処理施設に比べ低い。

アンモニア濃度は、処理施設では30ppmを超えるときも見られるが概ね3～10ppm程度で、牛舎ではほとんど検出されていないが4ppm程度発生している。

硫化水素は処理施設で10ppm程度まで検出される時もあるが、地表での測定であり、暴露位置ではより濃度は低いと考えられる。牛舎ではほとんど検出されていない。

炭酸ガスは、処理施設で400～5000ppm程度であり、牛舎で400～1100ppm程度であった。

温湿度の変化とアンモニア、硫化水素、炭酸ガスの変化を比較すると、牛舎では気温が低くなる12月から3月において炭酸ガス濃度が高くなる傾向が見られるが、他は明瞭な関連は見られない。

3.2 腐食状況

現地測定グループの暴露後の腐食状況の一例として、暴露後316日（約10ヶ月）と945日（約31ヶ月）の処理施設（グループ5）と牛舎（グループ10）の状況を表3、4に示す。

試験片の外観は、牛舎に暴露した試料は、暴露時の上面に埃が堆積していた。

黒皮のままの試料1は、暴露1ヶ月目から試験片全面に錆の発生が確認され、その後、腐食が進行しており、光沢も低下している。

回収測定グループについても同様の傾向であるが、牛舎に暴露した試料について、上面の埃を除去した結果、溶融亜鉛めっき仕上げの試料4のみ、暴露時間の経過とともに、上面において黒点が生じ大きくなっていく状況が観察された。暴露後129, 374, 553日経過した資料4の上、下面のマイクロスコープによる20倍写真を写真4に示す。より詳細に観察するため暴露後553日の試料4についてマイクロスコープにより200倍の写真を撮影した結果を写真5に示す。黒点は、表面に盛り上がり付着している。

この付着物を寒天培地に塗抹し観察を行った結

表2 外観写真（処理施設）

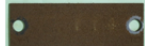
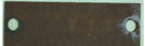

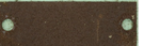

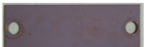

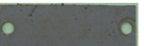

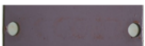



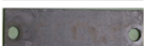
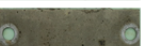

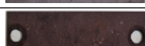
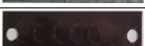
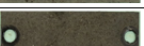
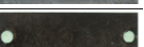
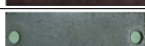
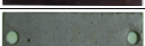
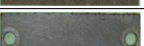
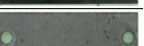
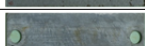

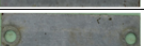
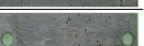



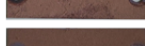
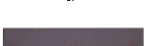



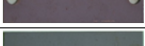

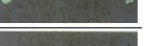
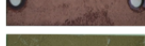
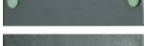
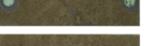
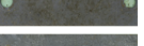
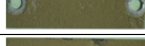
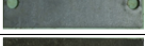
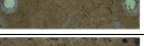
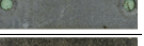
	暴露後10ヶ月目		暴露後31ヶ月目	
	表	裏	表	裏
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

表3 外観写真（牛舎）

	暴露後10ヶ月目		暴露後31ヶ月目	
	表	裏	表	裏
1		なし		
2				
3				
4				
5				

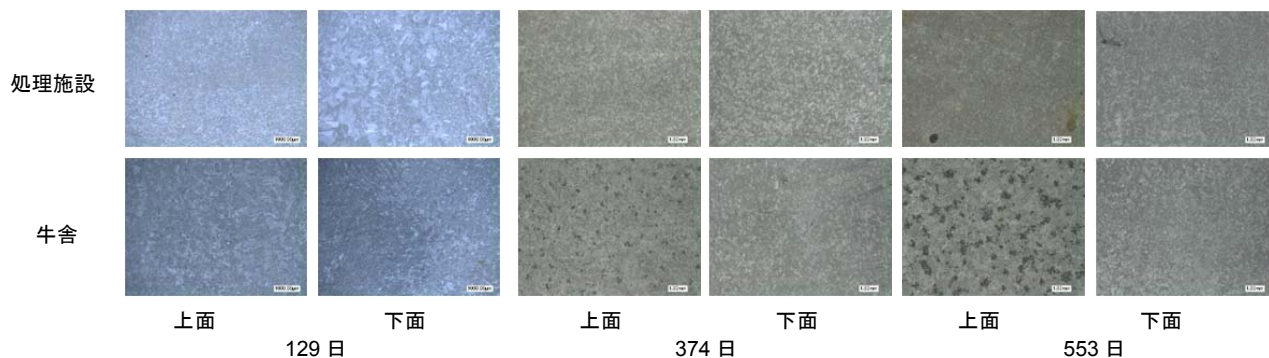


写真4 溶融亜鉛めっき試料外観の時系列変化（倍率 20 倍）

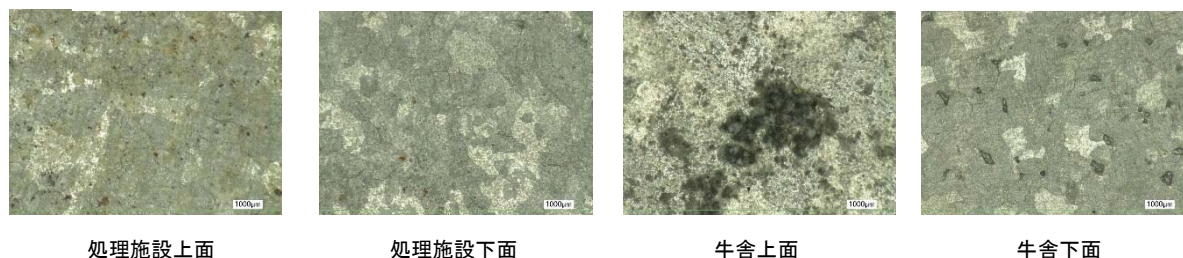


写真5 曝露後 533 日の溶融亜鉛めっき試料外観（倍率 200 倍）

果を写真 6 に示す。温度や湿度等環境を管理してはいないが、時間とともに塗抹した箇所から、黒点が大きくなっていく様子が観察され、黒カビと考えられる。なお、試料 4 の上面のみこの現象が見られる原因として、試料 4 のみ表面に結晶粒の境界と思われるひび割れが生じており、ひび割れが生じる試料 4 がひび割れの生じない他の試料に比べカビの発生しやすい環境になった事が考えられる。今後、この黒点がどのように拡大するのか、観察が必要と考えられる。

3.3 光沢度

図 5 に光沢度の測定結果を示す。牛舎に暴露した試験片の上面が他に比べ光沢度が著しく低下しているが、埃の付着が激しいためである。溶融亜鉛めっきに耐候性塗装を施した試料 5 が高い光沢度を維持している。なお、溶融亜鉛めっきに摩擦面処理を施した 6, 7 は暴露前から光沢度は低いため、暴露後も一番低い光沢度を示しているが、変化が少ない。

3.4 膜厚

膜厚の測定結果を図 6 に示す。試料 1 以外はほとんど変化がない。試料 1 の膜厚の増加は錆の発生によるものである。

4 おわりに

畜舎環境において、鋼材の表面仕上げにより腐食はどのような影響を受けるか確認するために行っている暴露試験について、945 日（2 年 7 ヶ月程度）



塗抹直後 塗抹後 12 日目

写真6 付着物の培養

暴露した状況について報告した。945 日程度では、建築で用いられる一般的な塗装および溶融亜鉛めっき仕上げではほぼ腐食の影響は見られないが、溶融亜鉛めっき仕上げの試料について、黒カビと思われる付着物があることを把握した。

今後、回収した試料について、断面を切断し観察を行い、仕上げの劣化状況をより詳細に分析を行う。

謝辞

付着物の解明にあたり、本学薬学部の三原義広講師に助言、協力いただいた。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 前田憲太郎, 田沼吉伸: 鉄骨構造畜産施設の構造体に関する実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集 C-1, 構造 III, pp. 991-992, 2011.7.
- 2) 前田憲太郎, 高橋圭二, 齋藤繁, 田沼吉伸, 見山克己: 畜舎環境における鋼材の腐食に関する

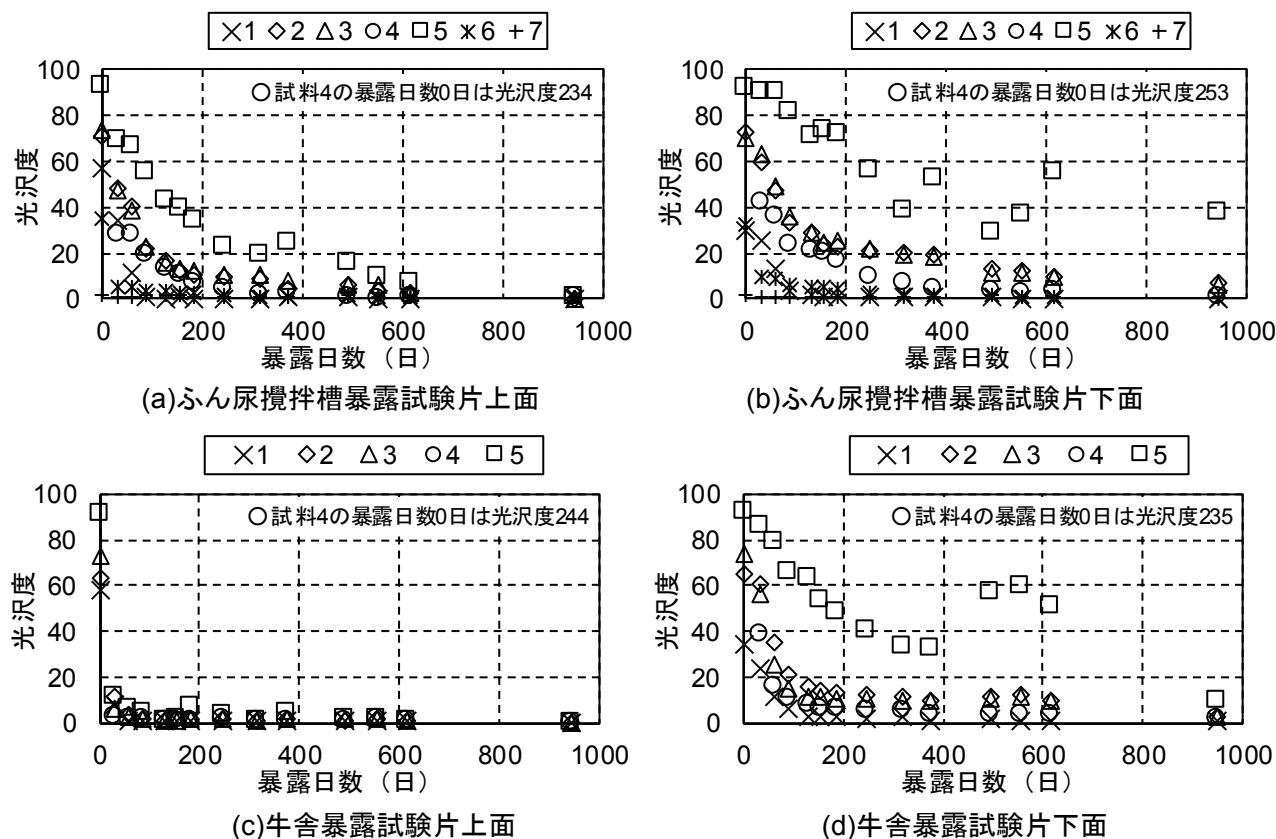


図5 光沢度

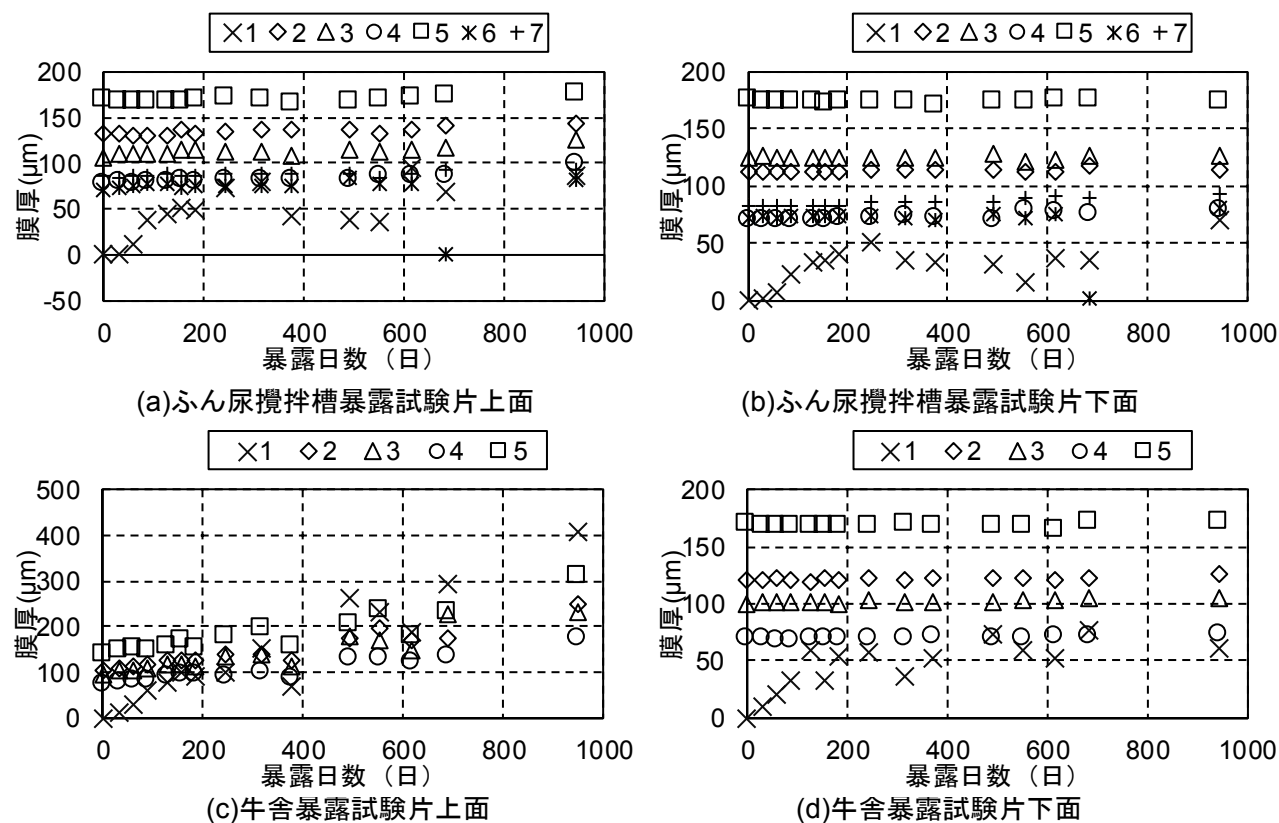


図6 膜厚