

B&R

第46回日本バイオロジー学会年会 プログラム・抄録集

会 期 : 2023年6月3日(土)・4日(日)

年会長 : 吉村 美紀 (兵庫県立大学環境人間学部)

会 場 : 兵庫県立大学姫路環境人間キャンパス



日本バイオロジー学会
<http://www.biorheology.jp>

日バイレオ誌 (B&R, 電子版) 第37巻 第2号

J. Jpn. Soc. Biorheol. 37(2) (2023)

第46回
日本バイオロロジ-学会年会
プログラム・抄録集



主催：（特非）日本バイオロロジ-学会

会期：2023年6月3日（土），4日（日）

年会長：吉村 美紀

（兵庫県立大学環境人間学部）

会場：兵庫県立大学姫路環境人間学キャンパス

日本バイオレオロジー学会年会のあゆみ

回	年会長	所属	会場	会期
1	深田 栄一	理化学研究所	東京慈恵会医科大学 高木会館講堂	1978/6/19
2	岡 小天	国立循環器病センター	国立循環器病センター 講堂	1979/6/30～7/1
3	東 健彦	信州大学	信州大学医学部第一講義堂	1980/6/28～29
4	谷口 興一	東京医科歯科大学	東京医科歯科大学 5号館	1981/6/20～21
5	梶谷 文彦	川崎医科大学	川崎医科大学 現代医学教育博物館	1982/6/26～27
6	稲垣 義明	千葉大学	千葉県文化会館 小ホール	1983/6/18～19
7	神谷 瞭	北海道大学	北海道自治会館 自治ホール	1984/6/16～17
8	浅野 牧茂	国立公衆衛生院	国立公衆衛生院 講堂	1985/6/15～16
9	志賀 健	愛媛大学	愛媛県医師会館 ホール	1986/6/11～13
10	磯貝 行秀	東京慈恵会医科大学	東京慈恵会医科大学 高木会館講堂	1987/6/13～16
11	松田 保	金沢大学	金沢大学医学部十全講堂	1988/6/2～4
12	大島 宣雄	筑波大学	筑波大学大会館国際会議室	1989/7/5～7
13	峰下 雄	帝塚山短期大学	奈良県新公会堂	1990/6/21～23
14	品川 嘉也	日本医科大学	日本医科大学 大講堂	1991/6/20～22
15	平川千里	岐阜大学	岐阜市文化センター	1992/6/25～27
16	菅原 基晃	東京女子医科大学	東京女子医科大学 弥生記念講堂	1993/6/16～17
17	松信 八十男	清和大学	イーザイホール	1994/6/17～18
18	貝原 学	帝京大学	TEPCO 地球館	1995/6/15～16
19	辻 隆之	国立循環器病センター	千里ライフサイエンスセンター	1996/6/6～7
20	増田 善昭	千葉大学	千葉大学けやき会館	1997/6/5～6
21	前田 信治	愛媛大学	エスポワール愛媛文教會館	1998/6/11～13
22	貝原 真	理化学研究所	理化学研究所 鈴木梅太郎記念ホール	1999/6/10～11
23	辻岡 克彦	川崎医科大学	倉敷公民館	2000/6/8～9
24	谷下 一夫	慶應義塾大学	慶應義塾大学 創想館マルチメディアルーム	2001/6/7～8
25	大橋 俊夫	信州大学	信州大学旭会館大会議室	2002/6/6～7
26	西成 勝好	大阪市立大学	大阪市立大学学術情報総合センター	2003/6/5～6
27	内村 功	東京医科歯科大学	東京医科歯科大学 特別講堂	2004/6/10～11
28	佐藤 正明	東北大学	東北大学マルチメディア教育研究棟	2005/7/7～8
29	丸山 徹	九州大学	九州大学医学部 コラボステーション	2006/6/12～13
30	佐々木 直樹	北海道大学	北海道大学 学術交流会館	2007/6/14～15
31	安藤 譲二	東京大学	東京大学理学部小柴ホール	2008/6/5～6
32	土橋 敏明	群馬大学	桐生市民文化会館	2009/6/4～5
33	氏家 弘	東京労災病院	理化学研究所 鈴木梅太郎記念ホール	2010/6/3～4
34	関 眞佐子	関西大学	関西大学100周年記念会館	2011/6/3～4
35	佐藤 恵美子	新潟県立大学	朱鷺メッセ	2012/5/31～6/2
36	工藤 奨	九州大学	九州大学西新プラザ	2013/6/6～8
37	大島 まり	東京大学	大宮ソニックシティビル 市民ホール	2014/6/5～6
38	吉田 雅幸	東京医科歯科大学	学術総合センター	2015/6/6～7
39	後藤 信哉	東海大学	東海大学校友会館	2016/6/18～19
40	望月 精一	川崎医療福祉大学	川崎祐宣記念講堂	2017/5/27～28
41	松本 健郎	名古屋大学	名古屋大学東山キャンパス	2018/6/16～17
42	山田 宏	九州工業大学	北九州国際会議場	2019/6/1～2
43	金田 勇	酪農学園大学	COVID-19感染拡大の影響により誌上開催	2020/6/17
44	一杉 正仁	滋賀医科大学	COVID-19感染拡大の影響により遠隔開催	2021/7/3～4
45	喜多 理王	東海大学	東海大学湘南キャンパス	2022/6/4～5
46	吉村 美紀	兵庫県立大学	兵庫県立大学姫路環境人間学キャンパス	2023/6/3～4

実行委員会

年会長 吉村 美紀

委員 島田 良子, 伊藤 美紀子, 加藤 陽二, 半澤 史聡, 中谷 梢, 高嶋 典子,
湯浅 正洋, 永井 紘太, 船見 孝博, 中馬 誠, 小野寺 允

オーガナイザー

OS1 血管内治療： 島野 健仁郎, 長谷部 光泉, 庄島 正明, 深作 和明

OS2 循環系ダイナミクスと疾患： 丸山 徹, 後藤 信哉, 山田 宏, 大島 まり

OS3 血液レオロジーと微小循環： 中村 匡徳, 関 眞佐子, 田地川 勉, 望月 精一

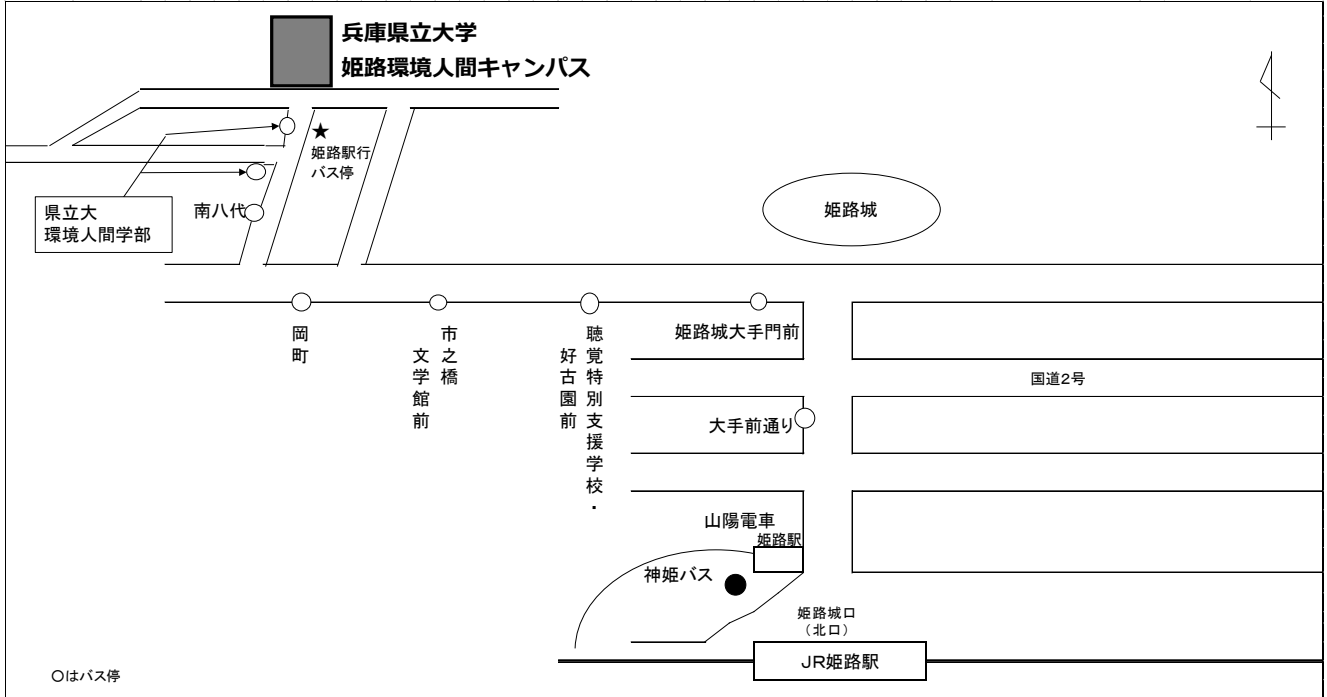
OS4 細胞・分子のメカバイオロジー： 工藤 奨, 大橋 俊朗, 青木 友浩, 松本 健郎

OS5 ティッシュエンジニアリング・人工臓器： 西田 正浩, 岩崎 清隆

OS6 生体物質の構造形成と機能発現・制御： 喜多 理王, 吉場一真, 四方 俊幸, 藤井 修治

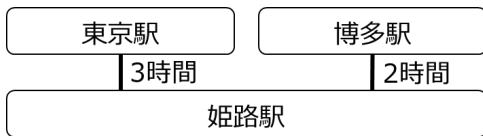
OS7 食品およびソフトマターのレオロジー： 金田 勇, 高橋 智子, 吉村 美紀, 船見 孝博

会場へのご案内



☆ 姫路駅へのアクセス

✈️ 新幹線でお越しの方



✈️ 飛行機でお越しの方



新幹線乗換口から1階へ、在来線の出口・中央改札を出て右手の姫路城口（北口）へ。

☆ JR 姫路駅と山陽姫路駅から県立大学姫路環境人間キャンパスへのアクセス

- 姫路駅北側ロータリーの⑨・⑩発の神姫バスはいずれも「県立大環境人間学部」へ行きます。「西高前」行<11 系統>・「田寺北口」行<12・13 系統>・「書写山ロープウェイ」行<8 系統>・「大池台」行<9 系統> に乗車で約 10 分「県立大環境人間学部」下車，徒歩 1 分。

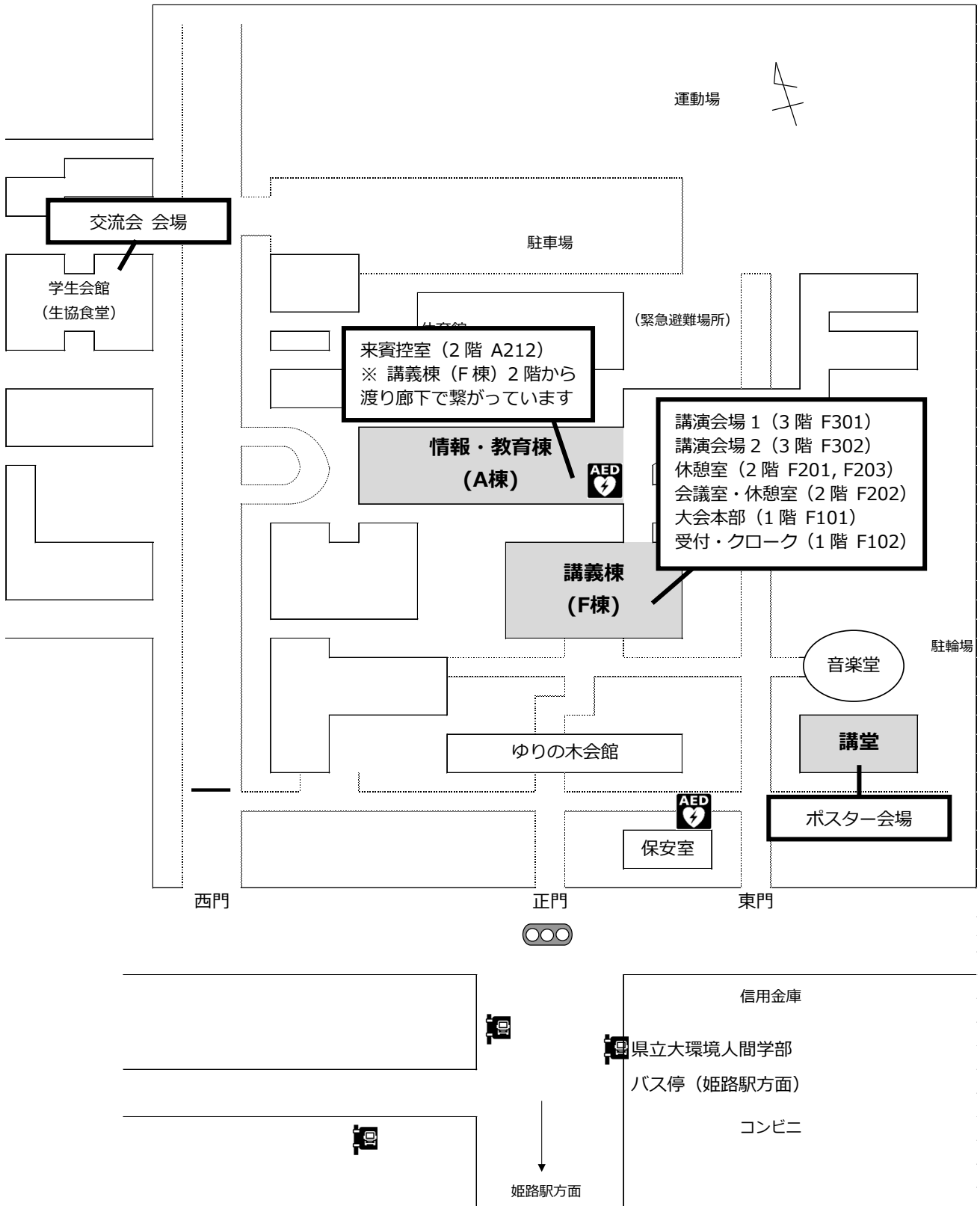
【姫路駅北側ロータリー】（神姫バス HP より引用）

- タクシー利用の場合は「新在家の県立大学環境人間学部」と指示してください。

※姫路市内に工学部（書写キャンパス）もごさいますので，ドライバーの方に明確にお伝えください。



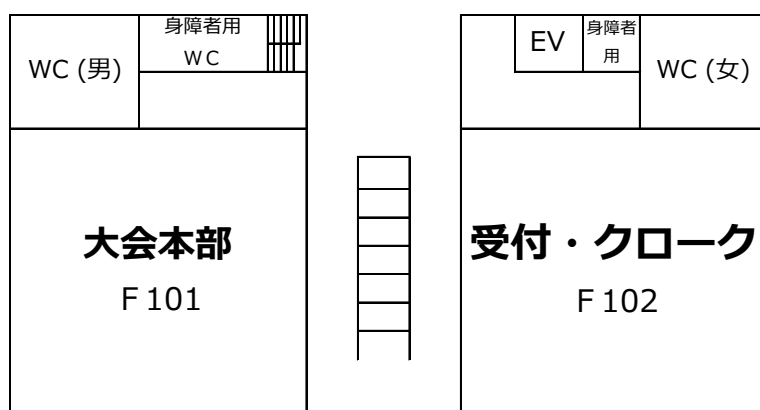
周辺・構内全体図



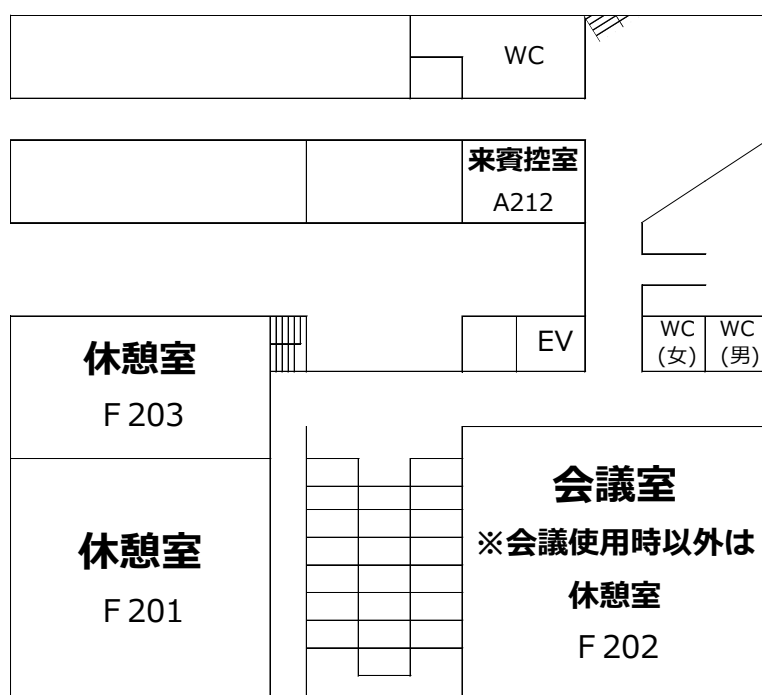
・正門から直進していただくと受付がございます。講義棟 (F棟) 1階へお越しください。

F棟（2階部のみA棟含む）

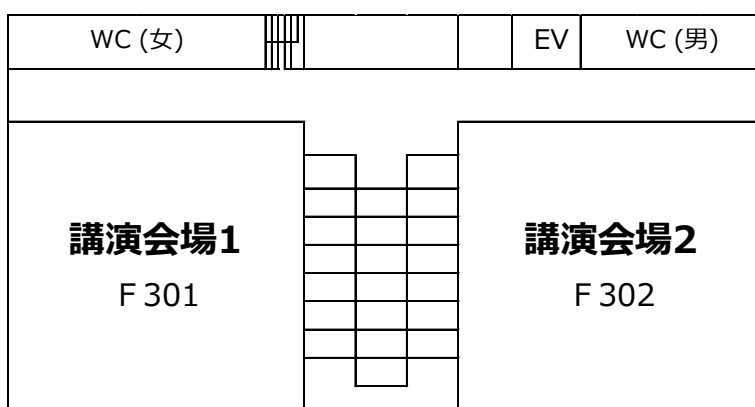
1階



2階



3階



講堂：ポスター会場

参加の皆様へ

受付

- ・ 受付（F102）は2023年6月3日（土）9:45 からです。必ずお立ち寄りください。
- ・ 県外からお越しの方で姫路市内に宿泊される方は、宿泊先登録にご協力をお願いいたします。
- ・ 登録いただきますと、共催の姫路コンベンションビューローより本大会への補助金が宿泊者数に応じて支払われますので、ご協力のほど何卒よろしくお願い申し上げます。

参加費・参加証

会 員 5,000 円（不課税）

非会員 15,000 円（消費税込）

学 生 3,000 円（学生会員 不課税，非会員 消費税込）

- ・ 非会員での参加者には、日本バイオロロジ-学会の会員資格が翌年4月末日まで付与されます。
- ・ 学生は参加受付にて学生証をご提示ください。学生証のご提示がない場合には、会員ないしは非会員の参加費となりますのでご注意ください。後日証明書を提出されても参加費の返金はいたしませんのでご了承ください。
- ・ 参加費は26日までに下記口座へ事前振り込みいただくか、年会当日、参加受付にて申し受けます。受付でお支払いされる場合は、なるべくお釣りのないようお願いいたします。

振込口座：播州信用金庫（ばんしゅうしんようきんこ）北支店（店番号027）

普通 口座番号1798458 第46回日本バイオロロジ-学会年会 会長 吉村 美紀

- ・ 参加費と引き換えに参加証（ネームカード）をお渡します。
当日登録の方は、各自で所属・氏名をご記入ください。
- ・ 会期中、会場では参加証を必ずご着用ください（ご着用がない場合、講演会場にはご入場いただけません）。

第46回日本バイオロロジ-学会年会 プログラム・抄録集

- ・ 年会参加者の方は会員、非会員を問わず会期中、年会ホームページの参加者専用ページよりプログラム・抄録集を閲覧いただけます（パスワード：biorheo46）。

年会ホームページ <https://biorheology46.wixsite.com/2023>



- ・ キャンパス内は電子タバコも含めすべて禁煙です。
- ・ 講演会場内での撮影および録音は禁止させていただきます。
- ・ 講演会場内での携帯電話等のご使用は禁止させていただきます。また、会場内では電源をOFFにするかマナーモードに設定してください。

交流会

下記の日時・場所にて、交流会を開催いたします。

皆様のご参加を心よりお待ちしております。

日 時： 2023年 6月 3日（土） 18:00～20:00

場 所： 兵庫県立大学 姫路環境人間学キャンパス 生協食堂

会 費： 会員・非会員 3,000 円， 学生 1,500 円

※ 会費は事前振込いただくか、年会当日、参加受付にて申し受けます。

発表に関する注意事項

講演時間

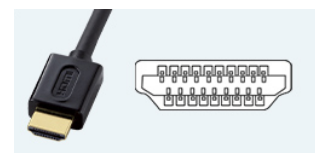
- ・ オーガナイズドセッション、学会奨励賞セッションでの講演時間は15分（発表10分、質疑応答5分）です。

座長の方へ

- ・ ご担当セッション開始10分前までに会場内前方の次座長席にお着きください。
- ・ 会場進行係はありますが、セッションの進行は座長にお任せいたします。演者ごとの講演時間を厳守してください。
- ・ 発表順はプログラム記載の通りですが、進行ならびに追加発言・討論等に関しては座長にご一任いたします。ただし、セッションの終了時間を厳守してください。

演者の方へ

- ・ ご発表の2演題前までに会場内（左前方）の次演者席にお着きください。
- ・ すべてPCでの発表になります。スライド・OHP の使用は出来ません。
- ・ ご自身のPCをご持参ください。
- ・ ご発表中のPC の操作は、発表者ご自身ないしは共同演者で行ってください。
- ・ プロジェクターとの接続は、HDMIコネクタ（タイプAコネクタ）とさせていただきます（写真参照）。
- ・ ご持参いただくPC に保存されているご発表データの損失に備え、USB フラッシュメモリ等でご発表データのバックアップをご持参ください。



ポスター発表の方へ

- ・ ポスターサイズはA0（W 841 mm × H 1,189 mm）です。
- ・ ポスターはポスターホルダー（吊り下げ、写真参照）での掲示となります。
複数枚の掲示はできませんので、ご注意ください。
- ・ 発表ポスターの左上にポスター番号を表示してください。
- ・ ポスターのフォーマット例は大会HPからダウンロードいただけます。
- ・ ポスター掲示は 6月3日（土） 10:00～11:00 に行ってください。
- ・ 優秀ポスター賞応募の方は、6月3日（土） 11:05からショートプレゼンテーションをしてください。
- ・ 6月3日（土） 11:50～12:20をコアタイムとしますので、ご自身のポスター前で待機ください。
- ・ ポスターの撤去は6月4日（日） 12:10～16:00に行ってください。



優秀ポスター賞応募ショートプレゼンテーションの要領

- ・ 発表の持ち時間は3分です。
- ・ 質疑応答はありません。
- ・ 発表用のファイル形式はMS Power PointまたはPDFとさせていただきます。
- ・ 11時までに会場のPC（Windows）へファイルをコピーしてください。
- ・ 発表の1演題前に教卓・教壇の傍で待機してください。

タイムテーブル

2023年 6月 3日（土）【受付・クローク】 F棟1階 F102 9:45～18:00

講演会場1 (F301)	講演会場2 (F302)	ポスターセッション (講堂)
		10:00～11:00 ポスター掲示
	11:00～ 開会式・注意事項	
	11:05～ 優秀ポスター賞応募ショートプレゼンテーション	
		11:50～12:20 ポスターコアタイム
12:20～ 昼食（事前参加登録時に申し込みいただいた方は、お弁当を受付でお渡しいたします）		
13:15～ OS1 血管内治療 OS2 循環器系ダイナミクスと疾患 OS8 レオロジー一般、その他	13:15～ OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(1)	
	14:20～ A 学会奨励賞応募講演	
	16:00～ 第44回バイオレオロジー・リサーチフォーラム	

<会議>・ eB&R 会議 6/3(土) 10:00～10:30 F202

・ JBR 会議 6/3(土) 10:30～11:00 F202

<交流会> 6/3(土) 18:00～20:00 生協食堂

2023年 6月 4日（日）【受付・クローク】 F棟1階 F102 8:30～15:30

講演会場1 (F301)	講演会場2 (F302)	ポスターセッション (講堂)
9:50～ OS3 血液レオロジーと微小循環 OS5 ティッシュエンジニアリング・人工臓器 OS6 生体物質の構造形成と機能発現・制御	9:50～ OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(2)	
	10:50～ 総会・表彰式	
	11:20～ 岡小天賞受賞講演	
12:10～ 昼食（事前参加登録時に申し込みいただいた方は、お弁当を受付でお渡しいたします）		
13:00～ OS4 細胞・分子のメカノバイオロジー	13:00～ OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(3)	12:10～16:00 ポスター撤収
休憩		
14:30～ OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(4)	14:30～ OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(5)	
	15:30～ 閉会式	

<会議>・ 理事会・評議員会合同会議 6/4(日) 9:00～9:50 F202

休憩室 F201, F203, 会議時以外F202も休憩室として使用可能 ※F201に協賛品, 飲み物, お菓子を用意

第1日目 6月 3日 (土)**講演会場1 : F棟 301教室****13:15~14:15 OS1 血管内治療, OS2 循環器系ダイナミクスと疾患, OS8 レオロジー一般, その他**

座長 : 島野健仁郎 (東京都市大) , 服部薫 (早稲田大)

- OS1-1 血液の非ニュートン性がコイル塞栓後脳動脈瘤の再開通予測に及ぼす影響
○金林春希 (東京理大, 慈恵医大) , 藤村宗一郎, 増田和範, 石橋敏寛, 山本誠, 村山雄一
- OS1-2 脳動脈瘤の破裂を誘起するCCL2濃度分布シミュレーション
○桑本怜 (東京都市大) , 島野健仁郎, 白鳥英, 永野秀明
- OS2-1 4D-MRI を用いたB 型大動脈解離モデルの偽腔内血流に関する評価
○服部薫 (早稲田大) , 高田淳平, 岡本裕成, 峰田紫帆, 尾嶋浩太, 岩崎清隆
- OS8-1 多周波数生体電気インピーダンス法を用いた血液透析患者の過剰体液量の推定
○安藤誠 (川崎医療福祉大) , 望月精一, 島田典明, 浅野健一郎, 菊辻徹

講演会場2 : F棟 302教室**11:00~11:05 開会式****11:05~11:45 優秀ポスター賞応募ショートプレゼンテーション**

司会 : 吉村美紀 (兵庫県立大)

- SP-1 流動計測支援型レオメトリによる食品開発・製造のDX推進
○大家広平 (北海道大) , 芳田泰基, 田坂裕司, 村井祐一
- SP-2 ココアの乳化構造と物性の温度依存性
○高井実花 (酪農学園大) , 川端庸平, 金田勇
- SP-3 血小板血栓の初期形成過程におよぼすポリフェノールの効果
○清水瑳羅 (新潟医療福祉大) , 佐藤万理亜, 山下夢朗, 小林茉莉, 平井美由紀, 田村典子
- SP-4 PKCa局在時におけるKeratin構造の影響
○森岡 真悠 (九州大) , 佐々木 沙織, 世良俊博, 工藤奨
- SP-5 細胞微小変形時のモータータンパク質の挙動
○尾崎郁美 (九州大) , 佐々木沙織, 世良俊博, 工藤奨
- SP-6 粘弾性を制御したフードインクによる全栄養素対応のフード3Dプリント
○小田陽矢 (東京電機大) , 武政誠
- SP-7 微小正方形管内流れ中のヒドロゲル粒子の断面内分布
○西山朋宏 (関西大) , 佐井一総, 湊遥香, 鈴木大介, 板野智昭, 関真佐子
- SP-8 腸骨動脈の血行動態を模擬する試験装置を用いた塞栓プラグの血栓塞栓性能の評価
○名切将人 (早稲田大) , 玄如卉, 今井伸哉, 服部薫, 岩崎清隆

13:15~14:15 OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(1)

座長：船見孝博（三栄源エフ・エフ・アイ）

OS7-1 メレンゲ作成時の熱処理による泡特性変化

○川端庸平（酪農学園大），石川蒼心，柴山万里，金田勇

OS7-2 トライボロジーによるチーズの食感の定量化

○金田勇（酪農学園大），秋山航大，兼子ささら，川端庸平，柝原孝志

OS7-3 低温・高温殺菌牛乳のレンネット凝集に及ぼすHの効果

大塚夏見，○藤井修治（東洋大）

OS7-4 速度分布計測を基にした食品レオロジー物性の評価

○田坂裕司（北海道大，海洋研究開発機構），大家広平，高野哲秀，芳田泰基

14:20~15:50 A 学会奨励賞応募講演

座長：大橋俊朗（北海道大）、田地川勉（関西大）

A-1 骨格筋への血流制御機序解明のための毛細血管血流観察

○古沢宙紀（芝浦工業大），渡邊宣夫，木梨宏祐

A-2 キウイ果汁を用いた熟成型チーズの製造とその力学特性

○兼子ささら（酪農学園大），柝原孝志，金田勇

A-3 自己組織に置き換わるウシ由来脱細胞化血管の開発

○今井伸哉（早稲田大），中村時男，宿澤孝太，永見らら，大田紗瑛，福島宗一郎，大木隆生，岩崎清隆

A-4 膜-流体連成解析による赤血球懸濁液の粘弾性評価

○武石直樹（京都工業繊維大，大阪大），Marco Edoardo Rosti，横山直人，Luca Brandt

A-5 機能性僧帽弁閉鎖不全症モデルを用いた新規僧帽弁形成デバイスの開発と機能性評価

○岡本裕成（早稲田大），森村隼人，高田淳平，峰田紫帆，尾嶋浩太，田端実，岩崎清隆

A-6 正弦曲線的せん断流れ発生装置を用いた赤血球変形能評価システムの構築

○金子侑香里（芝浦工業大），Kriengsak Masnok，渡邊宣夫

16:00~17:50 第44回バイオレオロジー・リサーチフォーラム

テーマ：「嚥下の科学 -高齡社会における誤嚥予防と嚥下評価-」

司会：金田 勇（酪農学園大学農食環境学群教授）

講演1 咀嚼・嚥下過程のコロイド・レオロジー

○西成勝好（湖北工大特別招聘教授・大阪市立大学名誉教授）

講演2 人工知能で嚥下を科学する

○八木直美（兵庫県立大学先端医療工学研究所准教授）

第2日目 6月 4日（日）**講演会場1：F棟 301教室****9:50～10:50 OS3 血液レオロジーと微小循環，OS5 ティッシュエンジニアリング・人工臓器，****OS6 生体物質の構造形成と機能発現・制御**

座長：土橋敏明（群馬大），関真佐子（関西大）

OS3-1 正方形管内流れに浮遊する扁平楕円体の運動

○藤澤勇亮（関西大），山下博士，板野智昭，関真佐子

OS5-1 ラット腹部大動脈の血管壁力学場の操作による血管壁の菲薄化に関する検討

○松居紗世（早稲田大），八木高伸，川村公一，小山達也，小谷優太，岩崎清隆

OS6-1 血漿/カルシウム溶液接触系における律速過程のクロスオーバー

○土橋敏明（群馬大），山本隆夫

OS6-2 アガロースゲルの物性におけるスクロース添加の効果

○槇靖幸（九州大），大原志織，安中雅彦

13:00～14:15 OS4 細胞・分子のメカノバイオロジー

座長：槇靖幸（九州大），大橋俊朗（北海道大）

OS4-1 微小重力条件下における血管内皮細胞の形態的応答

矢部達也，○大橋俊朗（北海道大）

OS4-2 血管内皮細胞による NO産生と衝突噴流環境との関係

○沢崎薫（東京都立大），山崎瑠海，高橋幸慈，中村匡徳，木村直行，川人宏次，坂元尚哉

OS4-3 流路を通過する細胞の変形の観察のための平行壁面間微小ギャップの製作

○橋本成広（工学院大），上原章吾

OS4-4 細胞外環境に応答した細胞内温度分布計測

○佐々木沙織（九州大），平井祐士，世良俊博，工藤奨

OS4-5 隣接細胞剥離時の遊走関連タンパク質の数値解析

○佐々木沙織（九州大），江口慶太，牛島克恭，世良俊博，工藤奨

14:30～15:30 OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(4)

座長：藤井修二（東洋大）

OS7-5 流動下の粘弾性測定による生クリームのせん断硬化の観測

○菜嶋健司（大菜技研）

OS7-6 こんにやくを用いた低カロリー肉様食品素材の開発

○山田徹郎（群馬産業技術セ，高崎健康福祉大），仁志直史，木元昭信

OS7-7 キャノーラ油が蒸しパンの食べやすさに及ぼす影響

○鈴木璃恩（静岡県立大），吉村美紀，石田真結加，江口智美

OS7-8 液体油と乳化がクッキーの食べやすさに及ぼす影響

○江口智美（静岡県立大），石田真結加，鈴木璃恩，吉村美紀

講演会場2：F棟 302教室

9:50～10:50 OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(2)

座長：金田勇（酪農大）

OS7-9 電気インピーダンス分光法(EIS)を用いたアイスクリームの形態構造発達段階のスペクトロレオロジーモデル
開発

○ヨセフス・アルディーノ・クルニアント・ブライトノ（千葉大），横溝周，武居昌宏

OS7-10 電気インピーダンス・スペクトロスコーピー法（EIS）を用いたホイップクリームの攪拌時における形態構造変化の
検出

○横溝周（千葉大），ヨセフス・アルディーノ・クルニアント・ブライトノ，武居昌宏

OS7-11 ホイップクリームの微視的流動特性

藤森安美，○藤井修治（東洋大）

OS7-12 ゼラチンの綿菓子化に及ぼす砂糖の効果

小久保美穂，柘智拓，○藤井修治（東洋大）

10:50～11:20 総会・表彰式

11:20～12:10 岡小天賞受賞講演

座長：後藤信哉（東海大）

微細管内を流れる血球の流体力学

○関真佐子（関西大，大阪大）

13:00～14:15 OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(3)

座長：武政誠（東京電機大），高橋智子（元神奈川工科大）

OS7-13 介護食品への応用を目指した，複数食材の混合による3D食品の色・硬さ表現の検討

○一森湧（山形大），渡邊洋輔，小川純，MD Nahin Islam Shiblee，古川英光

OS7-14 3Dプリンタ製一軸偏心ねじポンプ(PCP)による食品の3D造形

○小林竜也（山形大），渡邊洋輔，小川純，MD Nahin Islam Shiblee，古川英光

OS7-15 レーザー式3Dフードプリンタに向けた食品インクの検討

○渡邊洋輔（山形大），藤原広希，一森湧，鳥羽慶，貝沼友紀，小川純，古川英光

OS7-16 介護食への適用を目指した食品3Dプリンタ用造形インクの力学的評価と3D造形

○藤原広希（山形大），渡邊洋輔，小川純，古川英光

OS7-17 フード3D プリンタによる食感創成と専用フードインクの設計

古屋佳叡，島田勇輝，○武政誠（東京電機大）

14:30~15:30 OS7 食品およびソフトマターのレオロジー(5)

座長：高橋智子（元神奈川工科大），市川寿（長崎大）

OS7-18 水産練り製品の咀嚼によるレオロジー変化と咀嚼・嚥下性を表す品質指標の策定

山川萌，○市川寿（長崎大）

OS7-19 ザンサン水溶液を潤滑液とするハイドロゲルの滑り摩擦

○榎靖幸（九州大），八島慎太郎，姫野凌哉，安中雅彦

OS7-20 気泡混合ゲルの嚥下時筋活動と力学的特性

○高橋智子（元神奈川工科大）

OS7-21 高温高圧処理による改質キサンタンガムの曳糸性

○柴田章吾（三栄源エフ・エフ・アイ），池上聡，前田和寛，中馬誠，船見孝博

会期中 6月 3日 (土) ~ 4日 (日)**ポスター会場：講堂**

- P-1 温風乾燥及び凍結乾燥鯛粉末の性状, 嗜好性
○島田良子 (兵庫県立大, 先端食科学研究センター), 山崎萌依, 山田梢, 吉村美紀
- P-2 ライスジュレ・豆類粉混合クリームの力学的特性と官能評価
○吉村美紀 (兵庫県立大, 先端食科学研究センター), 松本麻美, 島田良子
- P-3 新タマネギ葉パウダー添加クッキーの物理化学的特性と嗜好性
○湯浅正洋 (神戸大), 瀧本彩, 島田良子, 富永美穂子
- P-4 大豆たんぱく質・大豆多糖類を混合した食パンの物性と若年者と高齢者の咀嚼性
○佐々木琴美 (兵庫県立大), 島田良子, 江口智美, 桑野稔子, 吉村美紀
- P-5 レジスタントスターチ混合麺の物性・嗜好性・咀嚼性
○鷲田さゆり (兵庫県立大), 島田良子, 吉村美紀
- P-6 バイオチューブ人工血管による血管バイパス術時の血管吻合と血流の関係
○樋口皓太 (関西大), 中山泰秀, 田地川勉
- P-7 バイオシートを用いた二葉型人工房室弁の開発 (シート形状の工夫による形状最適化の試み)
○木村高宏 (関西大), 中山泰秀, 田地川勉
- P-8 流れと物質輸送の1次元数理モデルによる膵・胆管合流異常および高位合流における胆汁・膵液流れのシミュレーション
○守屋智輝 (関西大), 福澤宏明, 田地川勉

優秀ポスター賞応募

- SP-1 流動計測支援型レオメトリによる食品開発・製造のDX推進
○大家広平 (北海道大), 芳田泰基, 田坂裕司, 村井祐一
- SP-2 ココアの乳化構造と物性の温度依存性
○高井実花 (酪農学園大), 川端庸平, 金田勇
- SP-3 血小板血栓の初期形成過程におよぼすポリフェノールの効果
○清水瑛羅 (新潟医療福祉大), 佐藤万理亜, 山下夢朗, 小林栞莉, 平井美由紀, 田村典子
- SP-4 PKCa局在時におけるKeratin構造の影響
○森岡 真悠 (九州大), 佐々木 沙織, 世良俊博, 工藤奨
- SP-5 細胞微小変形時のモータータンパク質の挙動
○尾崎郁美 (九州大), 佐々木沙織, 世良俊博, 工藤奨
- SP-6 粘弾性を制御したフードインクによる全栄養素対応のフード3Dプリント
○小田陽矢 (東京電機大), 武政誠
- SP-7 微小正方形管内流れ中のヒドロゲル粒子の断面内分布
○西山朋宏 (関西大), 佐井一総, 湊遥香, 鈴木大介, 板野智昭, 関眞佐子
- SP-8 腸骨動脈の血行動態を模擬する試験装置を用いた血栓プラグの血栓塞栓性能の評価
○名切将人 (早稲田大), 玄如卉, 今井伸哉, 服部薫, 岩崎清隆

要旨

岡小天賞受賞講演

岡小天賞受賞講演

微細管内を流れる血球の流体力学

関 眞佐子***

* 関西大学システム理工学部物理・応用物理学科 [〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

**大阪大学大学院基礎工学研究科

1. 概要

血液は、液体である血漿と血球成分(赤血球, 白血球, 血小板)から成る. 血球成分の大半をしめる赤血球は, 静止状態で直径約 $8\mu\text{m}$ の中央が凹んだ円盤状をしており, 外力が加わると容易に変形する. 高い変形性により赤血球は微小血管内において血管壁から離れる向きの揚力を受けるため, 血管壁付近には赤血球がほとんど存在しない層(血漿層)が形成され, その層内に多くの血小板を含む. 血小板が微小血管の中央部にはあまり存在せず, 血管壁付近の血漿層内に多く存在する現象は Near-wall excess (NWE) と呼ばれ, 血小板が止血作用を果たすのに都合が良い. 本講演の前半は, 血小板あるいはその模擬粒子の NWE の形成について流体力学的観点より紹介する.

剛体球粒子の希薄なサスペンションを円管に流すと, 流速が小さい場合, 粒子は流れに乗って真っ直ぐ流れていくのに対し, 赤血球サスペンションの流れでは, 赤血球が次第に管中心軸に近づく現象(軸集中)が見られる. これは赤血球の変形性により, 内向き揚力がはたらくためである. 一方, 流速が大きくなると, 慣性による揚力が生じるため剛体球粒子は一定の半径をもつ円環状に集束して流れる(Segre-Silberberg 効果, 慣性集束現象). 剛体球の代わりに赤血球を流した場合, 赤血球の慣性集束現象がどのようになるかは分かっていない. 本講演の後半は, 赤血球の慣性集束現象について紹介する.

2. 血小板(模擬粒子)分布の偏り(NWE)¹⁻⁴⁾

管内流れの流速は管断面内で一様ではなく, 管中央部で最大となり, 管壁で 0 となる. このような速度勾配の存在により, 血管内において赤血球は流体力学相互作用の結果拡散的に振る舞う(shear-induced diffusion). 血小板も同様に周囲の多数の赤血球の作用により拡散的挙動をとる. その結果, 最初血管中央部にいた血小板が外側に向け移動し, 一旦血漿層に入り込むと血漿層内に留ま

ることにより, NWE が実現する. NWE はこのように赤血球との流体力学的相互作用に起因することから, 同様の現象が血小板と同サイズの粒子(血小板模擬粒子)でも見られる. 当研究室では, 人工微小流路に血小板模擬粒子を浮遊させた赤血球サスペンションを流し, 粒子分布を計測することにより NWE 現象の研究を行ってきた. 本講演では, Y 字型の合流管と分岐管における NWE 形成の差異を中心に当研究室の研究を紹介する.

3. 赤血球の慣性集束現象⁵⁻¹³⁾

慣性集束現象は, 最初に円管内流れに浮遊する粒子が下流断面で円環状に集まる現象として見いだされた. その後矩形断面をもつ管内流れでは下流断面の数点に浮遊粒子が集束し, その集束位置が粒子の大きさ, 変形性等によって変化することが分かったため, 血球等の細胞の分離・選別への応用が期待されている. 一般に細胞は変形性を有し, 高分子を含む粘弾性溶液を媒質として用いることが多いことから, 細胞を浮遊粒子とする場合には, 慣性による揚力のほかに, 細胞の変形性や媒質の粘弾性による揚力が加わる. 本講演では, 赤血球やヒドロゲル微粒子, 剛体粒子を浮遊粒子とし, ニュートン流体や粘弾性流体, 血漿を媒質として用いた場合の慣性集束現象の実験結果や数値シミュレーション結果を報告し, 特に赤血球の変形性や血漿の粘弾性の影響を議論する.

文献

- 1) Noso R et al J Soc Rheol Jpn 43, 99, 2015.
- 2) Sasaki T et al Biorheol 54, 153, 2018.
- 3) Sugihara-Seki M et al Biorheol 57, 101, 2021.
- 4) Sugihara-Seki M and Takinouchi N Micromachines 12, 1175, 2021.
- 5) Miura K et al J Fluid Mech 749, 320, 2014.
- 6) Nakagawa N et al J Fluid Mech 779, 776, 2015.
- 7) Morita Y et al J Fluid Mech 813, 750, 2017.
- 8) Shichi H et al Phys Rev Fluids 2, 044201, 2017.
- 9) Nakayama S et al J Fluid Mech 871, 952, 2019.
- 10) Yamashita H et al Phys Rev Fluids 4, 124307, 2019.
- 11) Yokoyama N et al Phys Rev Fluids 8, L072301, 2021.
- 12) Yamashita H et al Micromachines 12, 1242, 2021.
- 13) Tanaka S and Sugihara-Seki M JPSJ 91, 083401, 2022.

(略 歴)

- 1979年 京都大学理学部卒業
- 1981年 京都大学大学院理学研究科物理学第一専攻博士前期課程修了
- 1981年 国立循環器病センター研究所研究員
- 1985年 京都大学理学博士
- 1995年 関西大学工学部助教授
- 2004年 関西大学工学部教授
- 2007年~ 関西大学システム理工学部教授
- 2017年~ 大阪大学大学院基礎工学研究科特任教授
- 2021年 日本流体力学会 注目研究(ながれ 40)
- 2022年 日本物理学会 JPSJ Papers of Editors' Choice

要旨

第44回バイオレオロジー・ リサーチフォーラム

「嚥下の科学 -高齡社会における誤嚥予防と嚥下評価-」

第44回バイオレオロジー・リサーチ・フォーラム

咀嚼・嚥下過程のコロイド・レオロジー

西成勝好*

* 湖北工大特別招聘教授・大阪市立大学名誉教授

日本の平均寿命は長い、健康寿命との差が10年ほどあり、フレイルから要介護状態にならないよう、バランスの良い食事、適度な運動、社会活動が推奨されている。口腔内で形成された食塊が気管の方へ輸送される誤嚥に起因する肺炎による死亡率は高齢者では特に高い。健常者では起こらない誤嚥がフレイル以下の弱者に頻発する機構の詳細はまだ完全にはわかっていない。液状の食塊の粘度が高くなると誤嚥の発生確率が下がることは多くの研究グループにより報告されているが、過度に粘性が上がると、嗜好性が低下し、水分不足や低栄養状態に陥る症例が報告されている。さらに、喉頭蓋谷や梨状陥凹に残留した食塊が二次的な誤嚥を起こす危険性も指摘されている。また、食塊の凝集性が低いとまとまりが悪くバラバラになりやすいために、誤嚥を起こす危険性が高くなると考えられる。食品分野ではテクスチャー・プロフィール・アナリシス (TPA) の誤用が残念ながら頻繁であり、液状食品の凝集性の理解が進んだのは最近のことである。レオロジーシミュレーションにより、一定程度の解明がなされているが、降伏応力のある場合については未解明である。食品のテクスチャー・コントロールにひろく用いられてきた増粘・ゲル化コロイドの適切な使用により誤嚥のリスクを低下させる努力がなされてきた。テクスチャー変化により、味や香りの感覚強度も変化するし、これらの化学的な要因が嚥下反射時間に影響することも報告されている。また、嚥下反射時間が体温付近で最大になることも報告されている。これらの嚥下に影響する諸因子の相互関連はわからないことが多く残って

おり、異なる専門研究領域の情報交換・協力が必要である。本報告では、コロイド・レオロジー的取り組みの最新状況を概観し、討論の素材とした。

文献

K. Nishinari, Chap 3 Rheological and Thickening Properties; Chap 4 Gelling Properties in Y. Fang · H. Zhang · K. Nishinari Eds., Food Hydrocolloids Functionalities and Applications, Springer Nature, Singapore Pte Ltd. (2021)

西成 勝好, 方 亞鵬 食のバイオレオロジー -40年の変遷と課題-, 日本バイオレオロジー学会誌 (B & R, 電子版) 32, 2-21 (2018)

西成勝好, 素描 嚥下レオロジー, 高分子, 71, 562 (2022)

(略 歴)

学歴

1966年 東京大学教養学部基礎科学科卒業
1971年 東京大学理学系研究科相関理化学専攻博士課程単位取得満期退学
1976年12月 東京大学理学博士

職歴

1971年農林水産省食品総合研究所研究員、食品物性研究室長など、1992年退職、1992年大阪市立大学教授、2006年定年退職、特任教授2013年まで。2013年より、湖北工大特聘教授、現在に至る。国内外大学 (Glyndwr大、上海交通大、ESPIC、慶応大、大阪大、広島大、奈良女子大、九州大など) で非常勤講師

受賞歴

バイオレオロジー学会岡小天賞、日本レオロジー学会功績賞、Food Hydrocolloids Medal など

第44回バイオレオロジー・リサーチ・フォーラム

人工知能で嚥下を科学する

八木直美*

* 兵庫県立大学 先端医療工学研究所 准教授

Advanced Medical Engineering Research Institute, University of Hyogo

人生100年時代を迎え、健康寿命の延伸は今や国策となっている。その中でも、摂食嚥下障害は目を背けることが出来ない喫緊の課題となっている。以前の人口動態統計では誤嚥によって発生する肺炎（誤嚥性肺炎）は、「肺炎」の項目に含まれていた。しかしながら、近年、誤嚥性肺炎による死亡者数の増加が著しいため、肺炎と誤嚥性肺炎は別死因として集計されている。

現在、嚥下機能評価のゴールドスタンダードは嚥下造影検査（Video Fluorography: VF）や嚥下内視鏡検査（Video Endoscopy: VE）であるが、VFの場合はレントゲン室でしか実施できない、X線被爆等、VEの場合は食品が食道を通過している様子は観察できない等の問題が挙げられる。また、病院等で嚥下外来を行っている診療科はまだ少ないのが現状であり、誤嚥を予防し、安全的な経口摂取を推進することも重要である。

最近では、人工知能（Artificial Intelligence: AI）のひとつである対話型のChatGPT（Generative Pre-trained Transformer）[1]が話題となっているが、これはオープンソース化（無償でプログラムを公開）されていない。人工知能分野ではオープンソースにより、技術発展が加速していると考えられる。さらに画像処理装置（Graphics Processing Unit: GPU）が高性能化される中、AIが膨大なデータを瞬時に処理することができ、動画解析に適用されるようになってきた。嚥下分野でもAIが応用されており、例えば、嚥下音や呼吸音を定量評価できる製品も開発されている[2]。しかしながら、このシステムでは喉頭周辺にネックバンドを装着する必要があり、非接触型

製品ではなく、動画を対象としたものではない。また、VF動画にAIを適応したものは現状ない。そこで本研究では、VF動画や嚥下時の喉頭付近の様子を一般的な可視光カメラで撮影したものを対象に動態解析するシステム開発[3]-[4]の有用性について、紹介する。

文献

- [1] Roose, Kevin, "The Brilliance and Weirdness of ChatGPT," *New York Times*, 2022. 12. 5.
- [2] ウェアラブル嚥下計 / 摂食嚥下モニタリング解析サービス「GOKURI」<https://www.gokuri.com/>
- [3] N. Yagi, Y. Sakai, N. Kawamura, H. Maezawa, Y. Hata, M. Hirata, H. Kashioka, T. Yanagida, Singing Experience Influences RSST Scores. *Healthcare* 10 (2), 377, 2022.
- [4] S. Nakamura, N. Yagi, N. Kawamura, H. Kashioka, M. Hirata, H. Maezawa, T. Yanagida, Y. Hata, and Y. Sakai, "Relationship between Singing Experience and Laryngeal Movement Obtained by DeepLabCut," *Proceedings of IEEE Int. Conf. on Cybernetics*, 2021.

（略歴）

1998年姫路工業大学工学部情報工学科卒業後、三菱電機エンジニアリング株式会社で自動車電装品、ETC車載器等の検査装置の開発に携わる。2009年石川病院研究員を経て、2014年兵庫県立大学大学院工学研究科博士後期課程を2年早期修了。その後、京都大学大学院医学研究科脳神経内科特定研究員、兵庫医科大学医学部講師、姫路獨協大学医療保健学部准教授を経て、現在に至る。IEEE Senior Member。2012年Google Anita Borg Scholarship Award(女性研究者賞)等を受賞。

要旨

6月3日（土）

講演会場 1（F301）

OS1 血管内治療

OS2 循環器系ダイナミクスと疾患

OS8 レオロジー一般、その他

血液の非ニュートン性がコイル塞栓後脳動脈瘤の再開通予測に及ぼす影響

金林 春希^{**}, 藤村 宗一郎^{**}, 増田 和範^{**}, 石橋 敏寛^{***}, 山本 誠^{***}, 村山 雄一^{****}

*東京理科大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 [〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1]

**東京慈恵会医科大学 総合医科学研究センター 先端医療情報技術研究部

東京理科大学 工学部 機械工学科 *東京慈恵会医科大学 脳神経外科

1. 緒言

脳動脈瘤に対するコイル塞栓術後、血液流入によって脳動脈瘤が再発する「再開通」のリスクを、事前に予測することでより安全で効果的な治療が行えると期待されている。近年、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) を用いた再開通予測に関する研究が行われており、先行研究では主に、血液をニュートン流体と仮定している。しかし、実際の血液は非ニュートン流体であり、特にコイル塞栓術後の脳動脈瘤内はせん断速度が低いいため、非ニュートン性の影響が大きいと考えられる。本研究では、コイル塞栓後の脳動脈瘤に対して CFD 解析を行い、血液の非ニュートン性が再開通予測に及ぼす影響を調査することを目的とする。

2. 手法

脳底動脈先端部に位置する脳動脈瘤のうち、術後 2 年未満に再開通した再開通症例 4 例と、術後 2 年以上再開通せず安定状態であった安定症例 27 例を解析対象とした。これらの症例に対し、血液をニュートン流体及び非ニュートン流体として CFD 解析を行った。血液を非ニュートン流体とする場合は、脳動脈瘤を持つ患者 12 名を対象に行った粘度測定の結果から修正 Casson モデルを用いて作成した血液モデルを使用した。コイルのモデル化にはポーラスモデルを用いた。血行力学的及び形態学的パラメータ全 36 種類を定義し、空間平均値、最大値、最小値にはそれぞれ *Ave*, *Max*, *Min* を付して表記した。また、コイル留置前後、及びその減少率を表すパラメータにはそれぞれ *BF*, *AF*, *RR* を付した。特に注目したパラメータは、母血管と脳動脈瘤の境界であるネック部の無次元流速 V_{Neck} 、脳動脈瘤内部の無次元流速 V_{Dome} 及び、脳動脈瘤壁面のせん断応力 (wall shear stress : WSS) である。単変量ロジスティック回帰分析より、各パラメータに対し、再開通及び安定症例間で比較を行った。統計学的に有意な差 ($P < 0.05$) を示したパラメータに対して ROC 解析を実施し、そのパラメータを用いて再開通予測を行う場合の感度 (sensitivity : se) 及び特異度 (specificity : sp) を求めた。

3. 結果及び考察

単変量ロジスティック回帰分析及び ROC 解析の結果を表 1 に示す。また、再開通、安定症例それぞれの

代表症例について、コイル留置後の粘度分布図 (断面図) 及び流線図を図 1 に示す。表 1 より、血液の非ニュートン性を考慮したことで、新たに $V_{Neck_Ave_RR}$, $V_{Neck_Max_RR}$ 及び $V_{Dome_Ave_RR}$ が統計学的に有意な差を示した。これは、血液の非ニュートン性の考慮により、流速が小さいコイル留置後の脳動脈瘤奥側において、高粘度領域が現れ、脳動脈瘤奥側への血液流入が減少し、再開通症例及び安定症例間の血行動態の差が拡大したためと考えられる (図 1(A), (B)参照)。

また、表 1 より、最も感度が高くなったのは、血液を非ニュートン流体とした際の $V_{Dome_Ave_RR}$ を用いた場合であった。血液の非ニュートン性の考慮は、脳動脈瘤再開通の予測精度向上に寄与すると考えられる。

4. 結言

血液の非ニュートン性を考慮することで、 $V_{Neck_Ave_RR}$, $V_{Neck_Max_RR}$ 及び $V_{Dome_Ave_RR}$ が新たに統計学的に有意な差を示した。このうち $V_{Dome_Ave_RR}$ を用いたときの再開通予測の感度は、血液をニュートン流体及び非ニュートン流体とした場合の中で最も高くなった。したがって、血液の非ニュートン性は脳動脈瘤の再開通予測に影響を与え、非ニュートン性を考慮した血液モデルを用いることで、再開通の予測精度が向上する可能性がある。

Table 1 Results of Statistical Analysis ($P < 0.05$)

	Newtonian fluid			Non-Newtonian fluid		
	P-value	se	sp	P-value	se	sp
$V_{Neck_Max_BF}$ [-]	0.05	0.75	0.89	0.05	0.75	0.89
WSS_{Min_BF} [Pa]	0.04	0.75	0.67	0.04	0.75	0.63
$V_{Neck_Ave_RR}$ [-]	0.12			0.03	0.75	1
$V_{Neck_Max_RR}$ [-]	0.41			0.04	0.75	0.81
$V_{Dome_Ave_RR}$ [-]	0.13			0.04	1	0.78

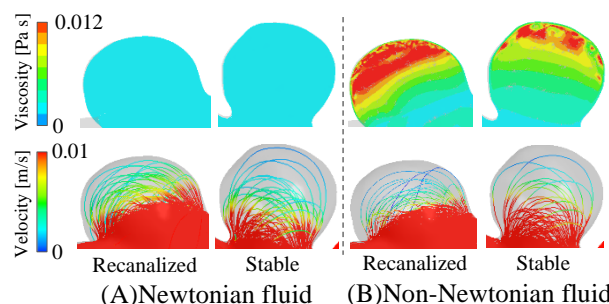


Fig. 1 CFD Results of Coil Embolized Aneurysm

脳動脈瘤の破裂を誘起する CCL2 濃度分布シミュレーション

桑本怜*, 島野健仁郎**, 白鳥英**, 永野秀明**,

* 東京都市大学大学院 総合理工学研究科 機械専攻 [〒158-8547 東京都世田谷区玉堤 1-28-1]

**東京都市大学 機械システム工学科

1. 緒言

Aoki らは CCL2(C-C motif chemokine ligand 2)が、脳動脈瘤の形成、成長及び血管壁への炎症細胞浸潤に重要な役割を果たしている可能性があることを報告している¹⁾。また Aoki らは低 WSS 及び高 OSI の血管壁では血管内皮細胞による CCL2 産生が増強されることを報告した²⁾。発現した CCL2 は濃度勾配によって単球 (血管壁ではマクロファージ) を誘導する。さらに、誘導されたマクロファージと CCL2 による増殖反応ループ³⁾を介して両者が増加することで、脳動脈瘤破裂に繋がる局所的な炎症反応が引き起こされると考えられている。

しかし、血流による対流輸送がある場合には単球を多く誘導するような局所的で急な濃度勾配を形成するかは不明である。そこで本研究では脳動脈瘤を含めた脳動脈に対して血流解析を行うとともに、その血行動態を基に CCL2 濃度分布シミュレーションを行った。

2. 解析方法

本研究では、Model A~E の形成部位の異なる脳動脈瘤 5 例を対象に血流の CFD 解析を行った。次に CCL2 の濃度計算には ANSYS Fluent の化学種輸送機能を使用した。流入口から流入する CCL2 濃度は健康者の血中 CCL2 濃度 100pg/ml とし、壁面からの CCL2 浸出量 a [kg/(m²/s)] は文献(2), (3)の実験結果を基に式(1)のように設定した。

$$a = (R_{OSI} + R_{WSS} + R_{Loop}) \times D \times 8.0 \times 10^{-14} \quad (1)$$

式(1)より R_{OSI} , R_{WSS} , R_{Loop} は OSI と WSS, 増殖ループによる血管壁からの CCL2 浸出量補正值をそれぞれ表している。 D は人体の恒常性を反映する値であり、CCL2 が過剰に産生された場合の減衰係数である。それぞれの補正值は式(2)~(5)により計算される。

$$R_{OSI} = 4.4 \times OSI + 1 \quad (2)$$

$$R_{WSS} = \begin{cases} -0.17 \times WSS + 1.51 & (0 \leq WSS \leq 8.9) \\ 0 & (WSS \geq 8.9) \end{cases} \quad (3)$$

ここで OSI は OSI の値、 WSS [Pa] は WSS の値である。

$$R_{Loop} = 3.22 (1 + 12.4 \times e^{-1.57 \times f})^{-1} \quad (4)$$

式(4)より、 f は壁面の CCL2 質量分率を表している。

$$D = \begin{cases} 0 & (C_d > 1.15) \\ \frac{1.15 - C_d}{1.15} & (C_d \leq 1.15) \end{cases} \quad (5)$$

また、 C_d は CCL2 無次元濃度である。

なお、ヒト由来情報の使用に関しては提供元病院にて承認を得ている。

3. 解析結果

例として Model B の結果を Fig.1 に示す。ここで Fig.1(c,d)は、壁面および血液中の CCL2 質量分率を示している。Fig.1(d,e)は、Fig.1(c)の破線を含み、紙面垂直方向に切ったときの断面図である。

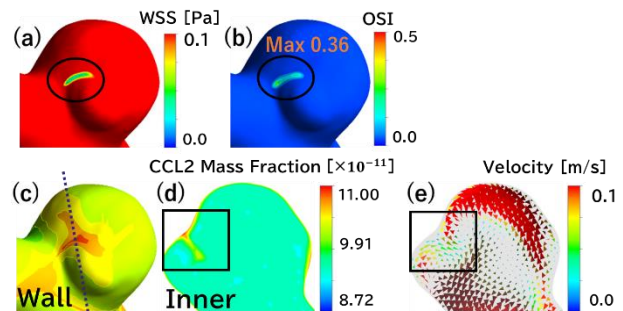


Fig.1 WSS(a), OSI(b), CCL2 Mass Fraction(c,d), Velocity Vector(e) distribution of Model B

4. 考察

Fig.1(a)~(c)では、低 WSS と高 OSI の壁面で他に比べて CCL2 質量分率が高い箇所が見られている。また Fig.1(d,e)の黒枠内における壁面内側の低流速な領域で、単球が誘導されるのに十分な濃度勾配が形成されていた。これは、低 WSS と高 OSI の壁面で CCL2 浸出量が増加したことに加えて、対流輸送の影響が小さいことにより CCL2 が滞留することで、広い範囲で急な濃度勾配を形成したと考えられる。以上の結果は、脳動脈瘤内の低 WSS 及び高 OSI の壁面周囲において、内側まで広く低流速な流れが見られる場合には、急な濃度勾配が形成され、単球を多く誘導する可能性があることを示唆している。

5. 結言

低 WSS 及び高 OSI の壁面周囲における広く低流速な領域では、血流による対流輸送があっても急な濃度勾配が形成され、多くの単球を誘導する可能性が示唆された。

文 献

- 1) Aoki, T. et al.: Stroke, **40**, 942-951,2009.
- 2) Aoki, T. et al.: Acta Neuropathol. Commun. **4**, 48, 2016.
- 3) Sakai, N. et al.: J. Leukoc. Biol. **79**, 555-563, 2006.

4D-MRI を用いた B 型大動脈解離モデルの偽腔内血流に関する評価

服部 薫*, 高田淳平*, 岡本裕成**, 峰田紫帆*, 尾嶋浩太**, 岩崎清隆**

* 早稲田大学理工学術院 先進理工学研究科生命理工学専攻 [〒162-8480 東京都新宿区若松町 2-2]

**早稲田大学理工学術院 創造理工学研究科総合機械工学専攻

1. 緒言

大動脈解離とは大動脈壁に亀裂（エントリー）が入り、中膜が 2 腔（真腔と偽腔）に解離する急性大動脈疾患である。Stanford B 型は上行大動脈に偽腔が存在しない病型で、原則として保存的治療が選択される。しかし、慢性期に著明な偽腔拡大・破裂を生じ得る症例（高リスク型）に対しては、偽腔拡大前（亜急性期）にステントグラフトを用いた予防的治療を行う必要がある。大動脈破裂の予防には偽腔拡大リスク予測が重要であり、そのための予測・診断基準の作成が求められている。本研究では胸部大動脈の三次元的形態が偽腔内血流に及ぼす影響に着目し、高リスク型の形態的特徴を 4D-MRI を用いて分析した。

2. 実験方法

大動脈形状が異なる 2 種類（モデル A, B）の B 型大動脈解離モデルをロスワックス法で作製（図 1）。大動脈瘤との関連性が指摘されている「走行の捻れ」を危険因子とし、上行-弓部（ α ）、弓部-下行大動脈間（ β ）の中心線交叉角を定量的パラメータとした。モデル A は健常成人、モデル B は大動脈瘤患者の文献値を基に α β を決定した。

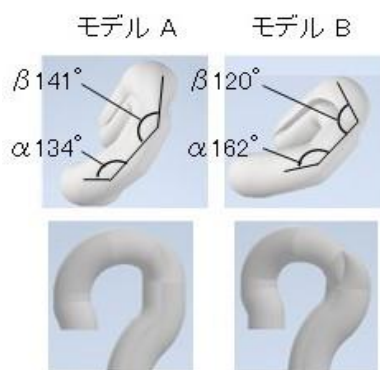


図 1 大動脈解離モデル

作製した大動脈解離モデルを MRI 対応型拍動循環回路へ組み込み、生理的な圧・流量条件（流量 5L、平均大動脈圧 100mmHg、心拍数 70bpm、収縮期比率 35%）における偽腔内血流を 4D-MRI で観察した。評価項目はエントリー流入量、壁せん断応力、偽腔内回旋流の循環・偏心性とした。

3. 実験結果

MRI 撮像時の速度エンコード（VENC）を 270cm/s（真腔）、90cm/s（偽腔）に設定し、収縮後期に観察される偽腔内回旋流を本モデルで模擬することが可能であった（図 2a）。エントリー流入量（モデル A vs B, 0.33 vs 0.36 L/min）、偽腔内回旋流の循環（0.008 vs 0.009 m^2/s ）、偏心性（2.0 vs 2.2, 反時計回転優位）は両モデルで同等であったが、エントリー直下の偽腔壁に作用する壁せん断応力はモデル B が A よりも大きかった（モデル A vs B, 10.2 vs 13.6 Pa）（図 2b）。

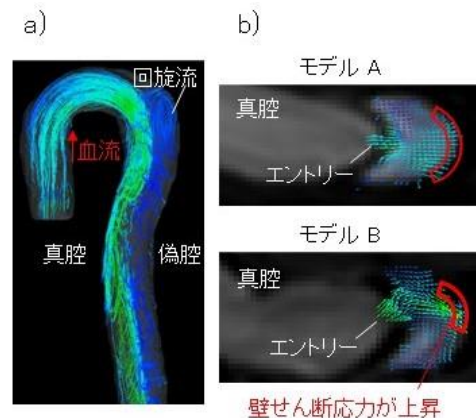


図 2 収縮後期の大動脈血流（4D-MRI）

4. 考察

モデル B ではエントリー直下の偽腔壁に作用する壁せん断応力がモデル A よりも大きく、弓部大動脈の高度な走行の捻れによってエントリーへの流入角度がより鋭くなったためと推察された。

5. 結言

Stanford B 型大動脈解離において、胸部大動脈における走行の「捻れ」は、偽腔壁に作用する壁せん断応力に影響を及ぼす。上行-弓部、弓部-下行大動脈間の中心線交叉角は、高リスク型症例を診断する上で有用な指標となる可能性がある。

文 献

- 1) 森 大祐, 山口隆美: 大動脈瘤の発生における大動脈内血流の影響の計算流体力学的解析, 脈管学, 43, 94-97, 2003

多周波数生体電気インピーダンス法を用いた 血液透析患者の過剰体液量の推定

安藤 誠*, 望月精一*, 島田典明**, 浅野健一郎**, 菊辻 徹***

*川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床工学科 [〒701-0193 岡山県倉敷市松島 288]

**公益財団法人 大原記念倉敷中央医療機構 倉敷中央病院 腎臓内科

***公益財団法人 大原記念倉敷中央医療機構 倉敷中央病院 予防医療プラザ

1. 緒言

多周波数生体電気インピーダンス法 (MF-BIA) で測定された健常者の細胞外水分量 (ECW) と総体水分量 (TBW) の比率 (ECW/TBW) が, 血液透析 (HD) 患者の dry weight (DW) の指標として有用である可能性が示唆されているが¹⁾, DW 評価における ECW/TBW の基準値は確立されていない。今回, 我々は健常者の ECW/TBW の特徴に基づいて²⁾, DW の設定に必要な, 体液量状態の新しい評価法を考案し, その臨床的有用性を検討した。

2. 方法

過去に, 健常成人 957 名 (男性 487 名, 女性 470 名) を対象として実施した研究結果を基に²⁾, MF-BIA (InBody 730) で測定した ECW, TBW および年齢との関係から過剰体液量 (ExFv) の推定式を考案した。次に, HD 患者 36 名 (男性 18 名, 女性 18 名) を, 臨床的な DW 群と体液量過剰 (OH) 群の 2 群に分け, MF-BIA (InBody S20) で測定した ECW と TBW から推算した ExFv と循環動態および栄養状態の評価指標を比較した。なお, 本研究は川崎医療福祉大学倫理委員会および倉敷中央病院倫理委員会の承認を得て実施した。

3. 結果

1) 健常者の ECW, TBW の特徴と ExFv 推定式

健常者特徴は, ECW/TBW は加齢に伴って上昇すること, ECW と TBW との間には強い正の相関関係があること (ECW-TBW 相関式; 男性: $ECW_m = 0.365 \times TBW_m + 0.581$, 女性: $ECW_f = 0.384 \times TBW_f + 0.088$), ECW-TBW 相関式に対する測定値の残差 (ΔECW) には年齢が最も強く関連すること (男性: $\Delta ECW_m = 0.011 \times Age - 0.609$, 女性: $\Delta ECW_f = 0.006 \times Age - 0.361$) の 3 点であった²⁾。

上記の特徴を基に, HD 患者の ECW と TBW を健常者の ECW-TBW 相関式上の点に一致させるために必要な除水量 (ECW の除去量) を ExFv と定義し, 年齢による ΔECW のばらつきを補正する形で, 以下の ExFv 推定式を考案した。

男性: $ExFv_m = \{ECW_m - (0.365 \times TBW_m + 0.581)\} / 0.635 - (0.011 \times Age - 0.609) \dots (式1)$

女性: $ExFv_f = \{ECW_f - (0.384 \times TBW_f + 0.088)\} / 0.616 - (0.006 \times Age - 0.361) \dots (式2)$

2) ExFv 推定式の臨床評価

DW 群と OH 群の ExFv [L] は, それぞれ男性で 0.17 ± 0.31 , 1.28 ± 0.48 [L], 女性で 0.12 ± 0.29 , 0.87 ± 0.30 [L] と, OH 群で有意に高値であった ($p < 0.001$)。循環動態指標 (循環血液量変化率 [%], 収縮期血圧 [mmHg], 心胸郭比 [%]) は, それぞれ男性で -14.28 ± 3.04 vs. -4.82 ± 2.45 [%], 123.7 ± 14.9 vs. 161.1 ± 18.8 [mmHg], 46.1 ± 2.7 vs. 53.2 ± 1.1 [%], 女性で -12.43 ± 3.10 vs. -6.22 ± 1.90 [%], 117.0 ± 25.9 vs. 167.1 ± 21.6 [mmHg], 48.6 ± 3.2 vs. 58.3 ± 4.3 [%] と, OH 群で有意に高値であった。栄養状態の評価指標 (nPCR, T-cho, Alb) は, OH 群で低値の傾向を認めた。

4. 考察

健常者の ECW と TBW の相関関係と, 加齢に伴って ECW/TBW が上昇する関係を基に考案した推定式から求めた ExFv は, 臨床的な DW 群と OH 群で有意な差を認め, OH 群で 1 L 程度の過剰体液量が貯留しているものと推算された。DW 群と OH 群における ExFv の違いは, 従来の循環動態および栄養状態の評価指標の違いとも一致しており, 推算した ExFv が DW を評価する指標として有用であることが示唆された。

5. 結言

ExFv は, MF-BIA で測定される ECW と TBW の相関関係に加齢に伴う体液量 (ECW) の増加を加味することで, HD 患者の過剰な体液量を簡便かつ定量的に評価できる指標になり得ると考えられた。

文 献

- 1) Lopot F, et al. Age-related extracellular to total body water volume ratio (ECW/TBW) -- can it be used for "dry weight" determination in dialysis patients? Application of multifrequency bioimpedance measurement. Int J Artif Organs. 25(8), 762-9, 2002.
- 2) Ando M, et al. Characteristics of body water distribution in healthy adults measured by multifrequency bioelectrical impedance analysis. J Biorheol. 33(1), 13-20, 2019.

要旨

6月3日（土）

講演会場 2（F302）

OS7 食品およびソフトマターの
レオロジー（1）

メレンゲ作成時の熱処理による泡特性変化

○川端庸平*, 石川蒼心*, 柴山万里*, 金田勇*

*酪農学園大学 [〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582]

1. 緒言

メレンゲとは卵白に粉糖を混ぜて泡立てたものである。食感改良や加熱時の膨張剤として使用され、スポンジやマカロンなどに用いられる。また、作成方法で泡特性が変化することが知られており、湯煎下で攪拌するスイスメレンゲや熱いシロップとともに攪拌起するイタリアンメレンゲでは硬い泡が形成されることが知られている。

我々はメレンゲ泡形成の主な要因として、卵白に含まれるたんぱく質が気液界面に吸着することを予想しており、加熱によってもその吸着構造が変化しているものと考えている¹。

そこで本研究では、メレンゲ泡の気液界面について卵白タンパク質とショ糖による表面張力の変化を調べることで、加熱による泡特性（泡の硬さ）変化を検証することを目的とした。

2. 実験方法

試料は凍結卵白を解凍した用いたものと、卵白に含まれる主要たんぱく質であるオボアルブミンを用いたモデル水溶液の2種類を作成した。オボアルブミンはSigma社製の純度95%のものを用い、蒸留水により5%水溶液を作成した。ショ糖（日本甜菜糖株式会社・スズラン印グラニュー糖）は、この水溶液に対して12.5、25、50 wt%で添加し、それぞれ十分に溶解させ消泡するまで常温で静置した。メレンゲの作成は30、40、50、70°Cの温度にしたウォーターバスにボウルを浮かべ、糖含有卵白を加えゴムベラで緩やかに攪拌しながら15分湯煎した。その後、ハンドミキサーで5分間ホイップし、出来上がったメレンゲをレオロジー測定した。比較のために、フレンチメレンゲ（氷水浴）でも作成した。

レオロジー測定: 応力制御型レオメータ MCR501 を用いて、メレンゲの動的粘弾性測定を周波数範囲 0.3~30 rad/s で測定、ひずみ 1% で測定、温度は 20°C で行った。

表面張力は自動表面張力計 CBVP-A3 型（協和界面科学社製）を用いて Will-Helmy 法（白金プレート）により測定した。サンプルステージの温度は恒温循環装置で 20°C に保った。卵白モデル水溶液に白金プレートを接触させた後、表面張力の値が定常値となるように 24 時間観察した。

3. 結果と考察

アルブミン 5% 水溶液の表面張力は、水の表面張力が 71.5 mN/m であることを考慮すると、アルブミンにより表面張力が 30% 程度低下しアルブミンが気液界面に吸着して界面活性が存在することがわかった。また、ショ糖濃度増大とともに表面張力は最大 5% ほど低下していることから、アルブミンの吸着がショ糖によって増大しているものと考えている。

一方、加熱メレンゲの粘弾性測定から、複素弾性率 G^* の周波数依存性を得た。両対数グラフにおいて G^* が線形で増大したことから、Weak Gel model による解析でゲル強度 A_f と配位数 Z を算出した²。Fig.1 に A_f の調製温度依存性を示す。30°C から 70°C までは温度上昇と共に A_f が増大し泡が硬くなっていることがわかった。配位数 Z は温度によってほぼ変化せず、調製温度による気泡充填率は変わらないと言える。これらの結果から、メレンゲの作成時の加熱攪拌による泡の硬化は、加熱により気液界面のタンパク質が水に溶けにくくなり、空気界面への吸着が促進され泡が安定化してゲル強度が増加したのではないかと考察している。

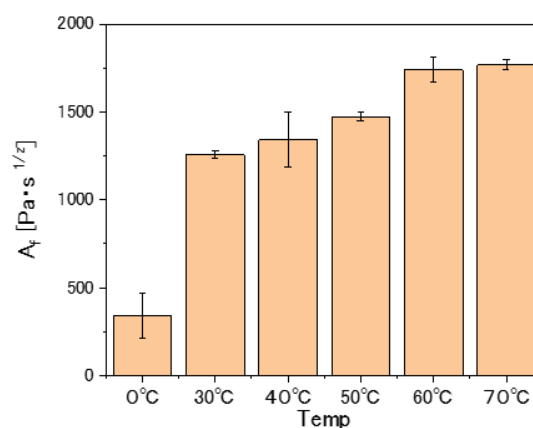


Fig.1 Temperature dependence of A_f is a parameter indicating the strength of the gel, obtained by Weak-gel model².

文献

- 1) 金田勇 河江玲奈, 日本食品科学工学会 第68回大会, (2021).
- 2) I. Kaneda, J Biorheol, 32, 9–14 (2018).

トライボロジーによるチーズの食感の定量化

○金田 勇*, 秋山航大*, 兼子ささら*, 川端庸平*, 栃原孝志*

*酪農学園大学 食と健康学類

[〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582]

1. 緒言

我々はチーズの原料乳にホモジナイズ処理することによりチーズの力学物性に変化が生じることを明らかにしてきた。具体的には破断強度および線形粘弾性特性がホモジナイズ処理強度依存的に低下する、すなわち「柔らかく」なることを定量的に評価してきた。破断強度の低下は「歯ごたえ」の低下につながると予想されるが、これは実際に官能試験でその傾向が明らかになっている。一方で官能試験では「なめらかさ」もホモジナイズ処理により変化していることが分かった。この「なめらかさ」はチーズを摂取する際に口中で食塊になった状態での特性が大きく関与していることが予想される。本報告では人工食塊を調製してその流動特性およびストライベック曲線を得て「なめらかさ」との相関について考察する。

2. 実験方法

チーズサンプルは酪農学園フィールド教育センターの乳牛より搾乳した生乳を用いて同乳製品製造学実習室においてゴーダタイプチーズの製造手順に従って製造した。ホモジナイズ処理は生乳を殺菌処理する前に高圧ホモジナイザーにより2および4MPaで処理した。ホモジナイズ未処理群はCONT, 2MPaおよび4MPaホモジナイズ処理を行った群をHLおよびHHとした。各種測定は少なくとも2か月間の熟成を経たサンプルを用いた。

人工食塊の調製：熟成2-4か月のチーズサンプル15g秤とり、チーズナイフで細切後15gの生理的食塩水を加え、ポロトロンホモジナイザーで80000rpm, 2分間粉碎処理した。

レオロジー測定：MCR501を用いて各種測定を行った。

1) 定常流粘度：二重円筒型フィクスチャーを用いて0.1-100s⁻¹の範囲で見かけ粘度を測定した。

2) トライボロジー測定：3本ピン式の tribo-cell に PDMS ピンを装着し、ガラスボールを用いて法線応力 1N でスライド速度 0.01-100mm/s の範囲でストライベック曲線を得た。

これらの測定はすべて30で行った。

3. 実験結果および考察

人工食塊の定常流粘度は群間で大きな違いは認められなかった。従って層流状態での流動特性では官能評価で認められた「なめらかさ」を定量化することは困難であることが明らかになった。一方で人工食塊のストライベック曲線には群間で大きな違いが観察された。

Fig.1はCONT, HL,およびHHの人工食塊のストライベック曲線を示す。

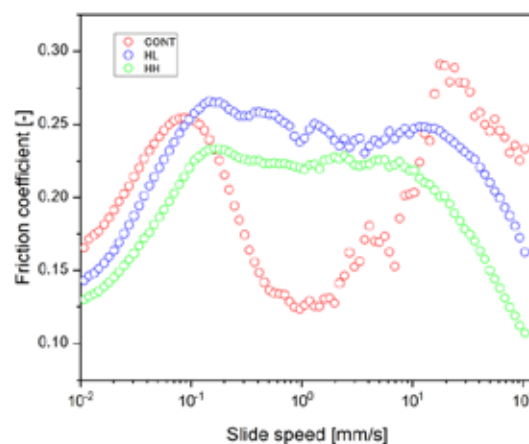


Fig.1 Stribeck curves of artificial bolus prepared from various cheese samples

スライド速度が1mm/s付近でCONTは大きく摩擦係数が低下しているがHLおよびHHは高い値を保持している。一方で生クリームของストライベック曲線では同領域での摩擦係数が大きく低下した。これらの結果よりチーズの人工食塊の摩擦係数には脂肪分が潤滑剤として働くと考えられた。CONTとHLおよびHHの摩擦係数の違いは食塊形成時の脂肪分の存在状態に大きく影響を受けることが予想された。報告ではチーズマトリックスの構造との関連も踏まえて議論する。

謝辞

本研究は科研費(20H02926)のサポートをうけて行われた。

低温・高温殺菌牛乳のレンネット凝集に及ぼすHの効果

大塚 夏見, 藤井 修治*

東洋大学 食環境科学科 [〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1]

1. 緒言

本研究の目的は、殺菌温度の異なる牛乳のレンネット凝集過程におけるゲル構造の違いを明らかにすることである。カゼインミセルの凝集は、乳酸菌による静電遮蔽効果とレンネットの酵素反応による疎水相互作用によって誘起される。牛乳のゲル化は殺菌温度によらず乳酸とレンネットの添加により生じるが、チーズ製造には低温殺菌した生乳が使用され高温殺菌生乳は使用されない。高温殺菌牛乳がチーズ製造に使用されない原因はカゼインミセルの凝集構造にあると考えられているが、その科学的理由は明らかにされていない。本研究では、pHを調整しつつ脂肪球の運動を基にカゼインミセルの凝集構造を推測することにより、殺菌条件によるゲル構造の違いを明らかにする。

2. 実験方法

カゼインミセルの大きさは直径150nm程度であり光学限界を超えているため、光学顕微鏡では観察できない。そこで観察可能な脂肪球(直径1 μ m程度)の運動を基にカゼインミセルの凝集構造を間接的に評価した。発酵乳酸により低温・高温殺菌牛乳のpHを6.2、6.1、6.0に調整し、レンネットを加えてゲル化させた。図1に、低温・高温殺菌牛乳のゲル化後における脂肪球の易動度をヒートマップとして表した。易動度の大きさが輝度で表されている。輝度は脂肪球の易動度に対応し、明るい領域ほど脂肪球は活発に運動し、暗い領域ほどゲル化により脂肪球が拘束されていることを表す。低温殺菌牛乳ゲル(図1(a))では、暗い画像の中に複数の明るい点がある。このゲルは均一でありながら、複数のボイドを持つことがわかる。この特徴はpH値によらず観察されたため、低温殺菌

牛乳ゲルの場合、pHによる大きな構造変化は生じないと考えられる。一方、高温殺菌牛乳((b):pH6.2, (c):pH6.1)では、ゲル化により脂肪球の運動が凍結された領域(図中の点線枠)と、脂肪球の運動が活発な領域に分かれており、脂肪球の易動度に大きな不均一性があることがわかる。特にpH6.0 (d)では、大きなチャンネルの形成が見られ、ゲル化が進行しているにもかかわらず大きな不均一構造が存在することがわかった。以上より、高温殺菌牛乳ゲルは、低温殺菌牛乳にはない大きな不均一構造を持つことが明らかになった。

3. 実験結果・考察

高温殺菌牛乳のカゼインミセルが不均一凝集構造を形成する原因の一つとして、殺菌温度による疎水性相互作用や静電反発力などのカゼインミセルの性質変化が考えられる。別途行った弾性率測定の結果、低温殺菌ではpHによらずゲルの弾性率は一定であったが、高温殺菌ではpHの低下とともに弾性率は上昇した。低いpHではカゼインミセル間に作用する静電反発力が遮蔽される。高温殺菌牛乳で観察された弾性率のpH依存性は、静電反発遮蔽により凝集状態が変化したことを示唆する。カゼインミセルの表面構造が殺菌温度により異なることが、凝集構造の不均一性や弾性率変化の原因であると考えられる。

4. 結言

脂肪球の易動度を可視化し間接的にカゼインミセル凝集構造を評価した低温殺菌牛乳と高温殺菌牛乳ではカゼインミセル凝集構造の不均一性が大きく異なる。凝集構造の不均一性は、チーズ製造に高温殺菌牛乳が用いられない理由の一つであると考えられる。

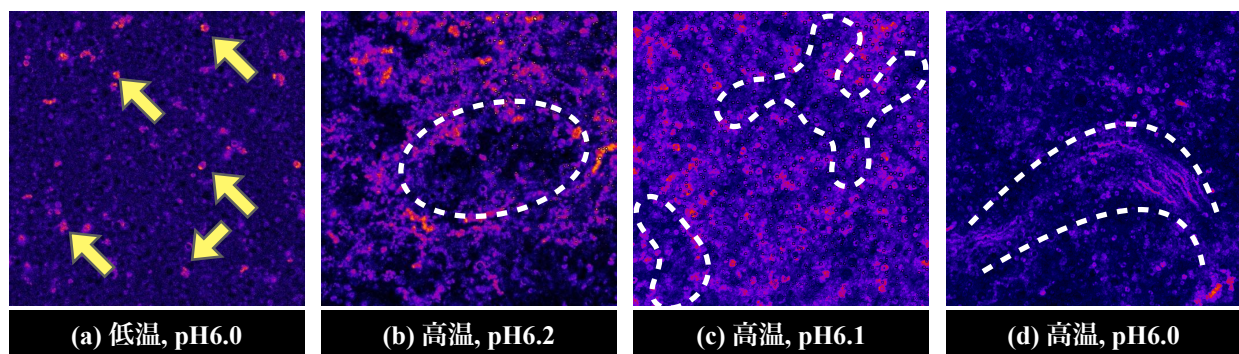


図1：脂肪球の易動度を可視化したヒートマップ画像。

速度分布計測を基にした食品レオロジー物性の評価

田坂裕司^{1,2}, 大家広平¹, 高野哲秀¹, 芳田泰基³

¹北海道大学大学院工学研究院（工学院） [〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目]

²海洋研究開発機構 海域火山地震部門

³産業技術総合研究所 計量標準総合センター

1. 緒言

不均質な混相流体である場合が多い流動食品について、日本摂食嚥下リハビリテーション学会では、それらの流動物性を正しく評価する術がないことが問題としてあげられている¹⁾。レオロジー物性評価の高精度化に貢献してきたトルク式レオメータはその反面、歪み速度の一様性を保証するために1mm未満の薄い試験流体層が必要となり、上記の不均質流体に対応できない。当研究グループではこの問題に対し、速度分布計測と運動方程式を基にした新たなレオメトリ（USR）の開発を行ってきた²⁻⁵⁾。この方法論では、非定常せん断に対する瞬時の粘度曲線を取得可能であり、レオロジー物性の経時変化を評価できる。近年では、ざり減粘を特徴付けるパラメータの時間変化から、食べやすさの議論を行っている⁶⁾。評価本講演では、いくつかの特徴的な計測結果を採り上げ、その適用可能性について議論する。

2. 超音波スピニングレオメトリ（USR）

USRの計測構成図を図1(a)に示す。円筒内に試験液体を満たし、周波数 f_0 、振幅 Θ で振動回転させる。誘起された流動速度を超音波トランスデューサ（TDX）から発信される超音波により計測し、周方向速度の半径方向分布を時間毎に取得する。TDXを円筒中心軸から Δy オフセットさせて設置すること、および一方向軸対称流れの仮定がこれを可能にする。この時空間速度情報を運動方程式

に代入し、解析することで局所瞬時の粘度と対応する歪み速度情報を得る。理想的には、秒単位の振動周期毎に瞬時の粘度曲線が得られることになる。

3. 解析例

LM-Pectinゲルの計測時の写真と、計測された速度分布から再構成された変形の様子を図1(b)に示す。図1(c)は、10秒毎の速度データに対し上記解析の結果得られた瞬時粘度曲線の時間変化である。シンボルの形状が計測時間を表しており、時間経過とともに強いざり減粘の性質が表れていることが分かる。なお、ここで示される横軸の歪み速度は、円筒の各半径位置で時間変動する歪み速度の実効値を、速度分布計測から定めた物である。

謝 辞

本研究成果の一部は、北海道大学創成特定研究事業、およびJST さきがけ（JPMJPR2106）の支援による。

文 献

- 1) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌, **17**, 255-267, 2013.
- 2) Yoshida, T. *et al.*, *J. Rheol.*, **61**, 537-549, 2017.
- 3) Yoshida, T. *et al.*, *Phys. Fluids*, **31**, 103304, 2019.
- 4) Yoshida, T. *et al.*, *Nihon Reoroji Gakkaishi*, **50**, 3-7, 2022.
- 5) 高野哲秀ら, *日本機械学会論文集*, **88**, 1-13, 2022.
- 6) Ohie, K. *et al.*, *J. Texture Studies*, **53**, 445-452, 2022.

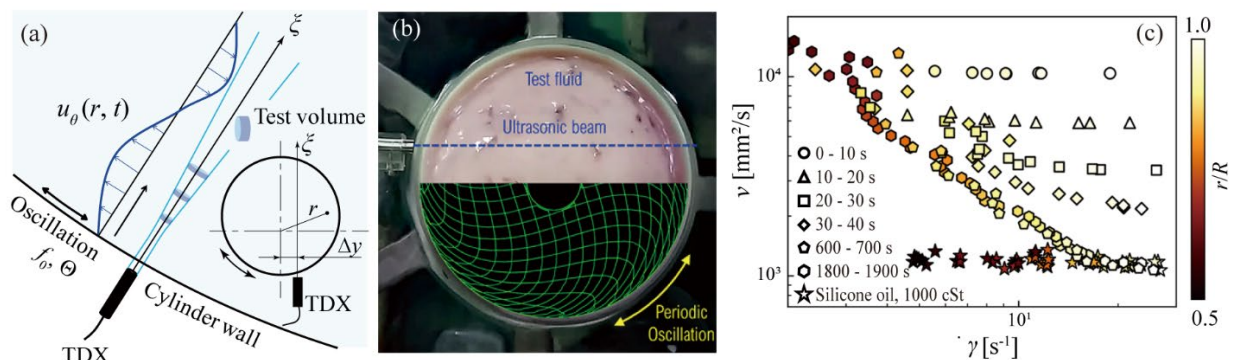


図1 (a)USRの構成図, (b)LM-Pectinゲルの計測例と速度分布計測結果から再構成した変形, (c)同ゲルの瞬時粘度曲線と時間変化⁴⁾

要旨

6月3日（土）

講演会場 2（F302）

A 学会奨励賞応募講演

骨格筋への血流制御機序解明のための毛細血管血流観察

古沢宙紀*, 渡邊宣夫*, **, 木梨宏祐*

* 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 システム理工学専攻 [〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307 芝浦工業大学大宮キャンパス 6 号館 102 教室]

** 芝浦工業大学 システム理工学部 生命科学科

1. 緒言

毛細血管が持つ機能の中で特に重要なものは、組織への酸素供給である。この酸素供給に影響する要因としては、毛細血管の血行動態や血液中の赤血球の体積割合であるヘマトクリット値、血液の持つ酸素量を示す動脈血酸素飽和度 (SaO₂) 等がある。中でも、毛細血管の血行動態について、毛細血管血流の不均一性 (Capillary Transit-time Heterogeneity : CTH) が注目され、議論の最中である¹⁾。組織の酸素需要が低い状態では、全体として不均一な血流が生じており、酸素需要の増加に伴い、均一な血流へ移行すると解釈され、運動時に多量の酸素が必要とされる骨格筋での血流制御と CTH の関係が報告された²⁾。この関係については、シミュレーションにより、妥当性が示されたが *in vivo* での解明には至っていない。そこで、我々は骨格筋毛細血管への血流制御機序解明を最終目標とし、運動強度変化に伴う CTH 変動の *in vivo* 実験的検証を本研究の目的とした。

2. 実験方法

本研究は芝浦工業大学動物実験委員会の承認を得ている (承認番号: 動承 22015 号)。実験では、Wistar 系ラット (♂, 6~7 weeks, 257 ± 21 [g]) の Cremaster 筋毛細血管を観察対象とした。これを含む組織を等張緩衝液で満たして生理的状态を保ちながら、実体顕微鏡 (OLYMPUS, SZX12) で観察および撮影を行った。ラットの運動状態を模擬する方法については、薬剤 (プロタノール 80 [μg/mL], パパベリン 10⁻⁴ [mol/L]) による心拍数上昇と細動脈拡張作用を用いることとし、薬剤投与前を安静条件、投与後を擬似運動条件と定義した。

撮影された動画から体動によるブレを除去した後、フレーム間での赤血球の位置変化を測定し、その経過時間で割ることにより赤血球流速を計算した。赤血球流量については、10 [s] 間に通過した赤血球数を計測し、時間で割ることで単位時間あたりの通過数として表した。また、本研究では CTH 変動の検証において、流速及び流量のばらつきを考えることとした。ラット毎で 8 本の毛細血管における変動係数を算出し、各条件間で比較した。

3. 実験結果

CTH 変動の検証について、各ラットにおいて計算された赤血球流速及び流量の変動係数を平均し、比較した結果を図 1 に示す。安静条件から擬似運動条件への移行により、流速と流量の変動係数に有意な低下が確認された。

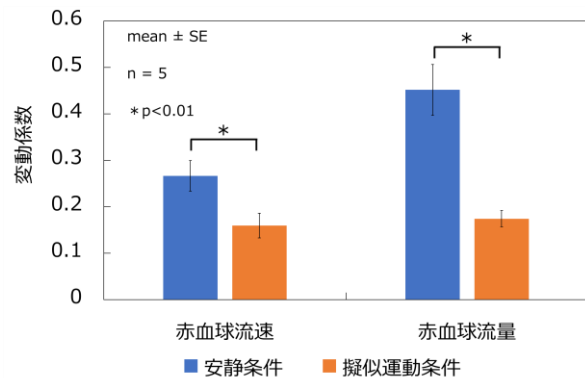


図 1 赤血球流速、流量の変動係数

4. 考察

図 1 より、安静条件と比較して擬似運動条件では、毛細血管血流がより均一な状態であったと読み取れる。したがって、先行研究で議論されている CTH 変動が *in vivo* の直接観察により示されたといえる。この事については、心拍数上昇と細動脈拡張による血流量増大が大きく影響したと考えられる。一方、CTH 変動が起きるメカニズムの詳細については未解明であり、今後検討していく必要がある。

5. 結言

本研究では、安静条件から擬似運動条件への移行により、流速及び流量の変動係数に有意な低下が確認され、骨格筋への血流量増大による血流の均一化が *in vivo* の直接観察にて明らかとなった。

文 献

- 1) Leif Østergaard, *J. Appl. Physiol.*, **129**(6), 1413-1421, 2020.
- 2) Leif Østergaard et al., *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, **318**(2), H425-H447, 2019.

キウイ果汁を用いた熟成型チーズの製造とその力学特性

○兼子ささら, 栃原孝志, 金田勇

酪農学園大学 酪農学研究科 食品栄養科学専攻 [〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582]

1. 緒言

我々はキウイ果汁に高い凝乳活性があることを見出し、モデルチーズの調製に成功している。本報告では実製造レベルでキウイ果汁を用いて熟成型チーズを製造しその力学特性の評価を行ったので報告する。

2. 実験方法

原料乳は酪農学園大学フィールド教育センター酪農生産ステーションで生産された生乳を、キウイ果実は市で購入した果実を用いた。

キウイ果汁調製：既存の方法で上清液を取り出し、キウイ果汁とした。果汁中のタンパク質量はBradford法で0.37mg/mL含有されていることが分かった。

チーズ製造方法：酪農学園大学乳製品製造実習室の熟成型チーズのレシピに従い、乳酸菌スターター（CHN-11）を添加し製造を行った。キウイ果汁は凝乳活性のデータに基づき原料乳 30L にキウイタンパク質 0.015mg/mL を添加した。レンネットは NATUREN Standard Plus 290（クリスチャンハンセン社）を用い、原料乳に対して0.003%(v/w)相当量を添加した。

破断強度の測定：ワイヤー型フィクスチャーを装着したTextureAnalyzerで10mm押し込んだ際の破断荷重を測定した。

動的弾性率測定：25mmパラレルプレート装着したMCR501でチーズの動的弾性率の周波数分散を25°Cで測定した。（ $\omega=0.3\sim 30\text{rad/s}$, $\gamma=0.5\%$ ）

3. 実験結果

3-1 破断特性 図1に製造直後のそれぞれのチーズサンプルの荷重-変形曲線を示す。この曲線下面積を求め破断エネルギー（mJ）として評価した。調製直後のキウイチーズの破断エネルギーは9.73mJでレンネットチーズは26.6mJということからキウイチーズの破断強度はレンネットチーズの約1/3倍であることが分かった。しかしキウイチーズとレンネットチーズの水分量および脂肪分に大きな違いは観察されなかった。

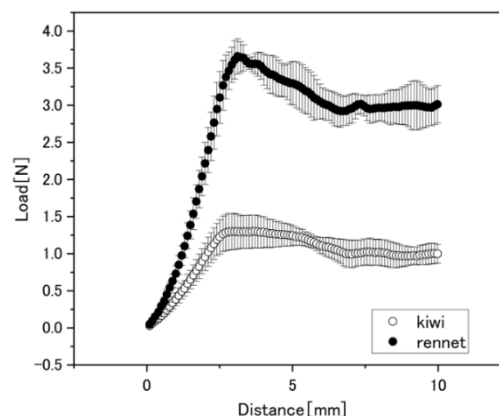


Fig 1 Load-deformation curve for the cheese samples (day0).

3-2 動的弾性率 製造直後のサンプルの動的弾性率の周波数分散をweak-gel-model式(1)で解析を行い、そこから求められるゲル強度 (A_f) と破位数 (z) の二つのパラメータから比較を行った。

$$G^* = A_f \omega^{1/z} \quad (1)$$

レンネットチーズおよびキウイチーズの A_f は 9.2×10^4 および $3.4 \times 10^4 \text{ Pas}^{-1/z}$ であり、キウイチーズはレンネットチーズの約2/5倍であった。これは破断エネルギーの結果と矛盾しない。レンネットチーズおよびキウイチーズの z の値はそれぞれ7.2および5.5であり、レンネットチーズの方が緻密な構造であると考えられた。

キウイチーズはレンネットチーズに比べ製造直後では「柔らかい」ことが明らかになったが、水分量や脂肪分に大きな差が見られないことからミクロ構造が異なっていることが予想される。発表では2か月程度の熟成でどのような物性変化がみられるかについて議論する。

文 献

- 1) 兼子ささら 他, 第70回レオロジー討論会, 2022

自己組織に置き換わるウシ由来脱細胞化血管の開発

今井 伸哉*, 中村 時男*, 宿澤 孝太***, 永見 らら**, 大田 紗瑛**,
 福島 宗一郎***, 大木 隆生***, 岩崎 清隆*, **

* 早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻 [〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2]

** 早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻

*** 東京慈恵会医科大学附属病院 血管外科

1. 緒言

内径 3-4mm の小口径グラフトの研究開発は、虚血性心疾患患者の救命、重症下肢虚血患者の救済のために切望されているが、合成繊維で作製された小口径グラフトでは血栓閉塞が最大の課題であり、実現できていない。本研究では、我々が開発した界面活性剤をマイクロ波照射下で拍動循環させる独自の脱細胞化技術を用い、DNA 残留量が脱細胞化組織の安全性の目安である 50 ng/mg¹⁾未滿となる脱細胞化ウシ血管を作製することを目的とした。さらに、ブタを用いて下腹部動脈を置換し、1週間開存するかを探索的に評価することを目的とした。

2. 実験方法

2.1. 脱細胞化血管の安全性評価

ウシ血管を界面活性剤溶液中に留置して拍動循環させ、マイクロ波照射を同時に行い、脱細胞化血管を作製した。ヘマトキシリン・エオジン染色を行い、脱細胞化処理前後の組織形態を評価し、安全性評価として残存 DNA 量を測定 (n=6) した。また、脱細胞化処理が血管組織に損傷を起こすかを評価するため、力学的特性の評価としてコンプライアンス試験 (n=6) を実施した。

2.2 ブタを用いた探索的な血管開存性評価

脱細胞化血管をブタの下腹部大動脈に置換し、探索的に 1 週間のグラフト開存性を評価した。ブタは術後 1 週後に血管造影により開存の有無を確認後、犠牲死させて血管内腔への血栓形成の有無を確認した。本研究は、早稲田大学動物実験審査委員会の承認を得て行った (承認番号: A22-030)。

3. 研究成果

3.1. 脱細胞化血管の安全性評価

ヘマトキシリン・エオジン染色から、脱細胞化処理によって細胞核は除去され、また、組織形態には顕著な差は生じないことが分かった。脱細胞化組織内の DNA 量は、未処理ウシ血管では 227.2 ± 23.9 ng/mg であったのに対し、脱細胞化処理後では 8.0 ± 0.8 ng/mg であり、独自の脱細胞化処理によって十分に細胞成分を除去することができた。さらに、コンプライアンス

試験から、脱細胞化処理の前後でスティフネスパラメータ β は同等であり、本脱細胞化処理は血管の力学的特性に影響を及ぼさないことが示された。

3.2 ブタを用いた生体適合性評価

術後 1 週にて置換部の血管造影を行ったところ、血流は流れる様子が確認された。組織を摘出して観察したところ、内腔には血栓は認められなかった。開発した脱細胞化血管は、最大の課題である急性期の血栓形成による閉塞を回避できることが示唆された。

5. 結言

血管組織の形態を損傷させることなく脱細胞化し、力学的特性を維持した脱細胞化血管を作製することに成功した。ブタ下腹部動脈再建試験により、1 週間は血栓形成を回避して開存するというデータを取得することが初めてできた。今後は、開存性に不可欠な内皮細胞化がどのくらいの期間で起こるのかを検討していく。

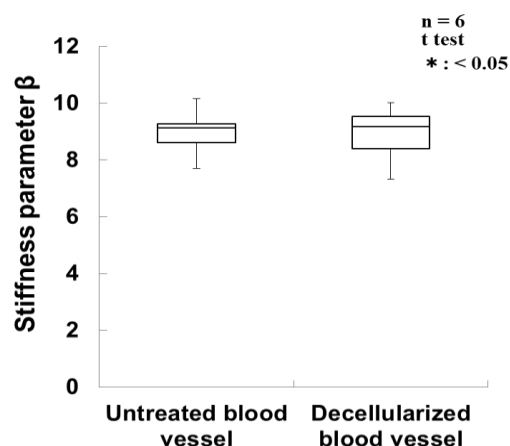


Fig. 1 Comparison of stiffness parameters between untreated and decellularized bovine blood vessels

謝辞

本研究は、科研費基盤研究(B)B1K501073301 による支援を受けて実施した。

文献

- 1) Crapo, P.M., Gilbert, T.W. & Badylak, S.F. 2011, "An overview of tissue and whole organ decellularization processes", *Biomaterials*, 32 (12) : 3233-3243.

膜-流体連成解析による赤血球懸濁液の粘弾性評価

武石直樹^{1,2}, Marco Edoardo Rosti³, 横山直人⁴, Luca Brandt⁵

¹京都工芸繊維大学 機械工学系 [〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町] ²大阪大学 大学院基礎工学研究科 [〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-3] ³沖縄科学技術大学院大学 ⁴東京電機大学 工学部 ⁵Royal Institute of Technology (KTH) Department of Mechanics

1. 緒言

ヒト血液の代表的なレオロジー特性として知られる shear-thinning 効果¹⁾は、定常せん断流れ場における赤血球(red blood cell; RBC)個々の相互作用の結果といえる²⁾。しかしながら、非定常せん断流れ場における赤血球懸濁液の動的レオロジー特性は必ずしも自明ではない。この問題は、マイクロ-マクロ間の階層からなる物性の創出過程の解明において重要な基礎知見を与えると期待される。本研究では、振動せん断流れ場における赤血球間相互作用と赤血球懸濁液としての血液の粘弾性特性の関係を明らかにすることを目的に、赤血球膜と膜内外の流体連成を考慮した大規模数値解析を行う。懸濁液の粘弾性特性は、粒子応力テンソル³⁾を用いた複素粘性係数によって定量する。

2. 方法

赤血球は内部流体が薄い膜面に覆われた両凹盤形状のカプセルとしてモデル化する。膜は超弾性体として仮定し、ひずみに対して高い剛性を示す Skalak の構成則⁴⁾を適用する。本問題は、膜の平衡方程式と膜内部及び外部流体の非圧縮性ニュートン流体の連成問題として定式化される。数値モデル化と計算手法、及びモデル検証の詳細は先行研究²⁾を参照する。考慮する無次元数は、Reynolds 数 ($Re = \rho \dot{\gamma}_0 a_0^2 / \mu_0$), Capillary 数 ($Ca = \mu_0 \dot{\gamma}_0 a_0 / G_s$) 数, 無次元周波数 $f_{in} = f \dot{\gamma}_0$, 赤血球体積率 ϕ とする (ρ は外部流体の密度, $\dot{\gamma}_0$ は定常せん断流れ場 ($f_{in} \rightarrow 0$) におけるせん断ずり速度, a_0 は赤血球の長軸半径, μ_0 は外部流体粘度, G_s は膜のせん断弾性係数)。懸濁液の粘度 $\mu_{all} (= \mu_0 + \delta\mu)$ における粒子の寄与 $\delta\mu$ は、比粘度 $\mu_{sp} (= \delta\mu / \mu_0 = \Sigma_{12}^{(p)} / (\mu_0 \dot{\gamma}_0))$ として評価し、粒子応力テンソル $\Sigma_{12}^{(p)}$ (流れ方向を 1, その垂直方向を 2) を用いて記述される³⁾。複素粘性係数 $\eta^* (= \eta' - i\eta'')$ は、粘性成分 $\eta' / \mu_0 (= |\mu_{sp}|^{amp} \cos\delta)$ と弾性成分 $\eta'' / \mu_0 (= -|\mu_{sp}|^{amp} \sin\delta)$ で評価する。ここで、 $|\mu_{sp}|^{amp}$ は $\mu_{sp}(t)$ の振幅, δ は $\mu_{sp}(t)$ と $\dot{\gamma}_0(t)$ の位相差である。

3. 結果と考察

本解析では、慣性は十分小さく ($Re = 0.2$), ヒト細静脈相当の低壁面せん断ずり速度 ($Ca = 0.05$) を想定する。Figure 1(a)に、振動せん断流れ場にお

ける $\phi = 0.41$ の解析結果の一例を示す。振動数 f が小さい場合、個々の赤血球はせん断方向に配向できるが、振動数 f が増加すると、赤血球はせん断方向と配向角が揃う前に次の変形を強制され、同じ位置で微振動を繰り返す。Figure 1(b)に振動周波数 f_{in} に対する複素粘性率 (η' / μ_0 と η'' / μ_0) を示す。ある特定の周波数 $f_{in}(=0.5)$ で弾性成分 η'' / μ_0 は極値をとり、これは赤血球体積率 ϕ が減少 ($\phi = 0.11$) しても存在した。無次元周波数 $f_{in}=0.5$ は、 $f \sim 21$ Hz に相当し、ヒトの拍動 (~ 1 Hz) よりも約 20 倍大きい。今後、本解析結果と実験計測の比較を行い、ミクロスケールからボトムアップ的にヒト血液の動的レオロジー特性を記述する。これらの知見は、非定常流れ場から血液のレオロジー特性を見積もるための基礎知見になると期待される。

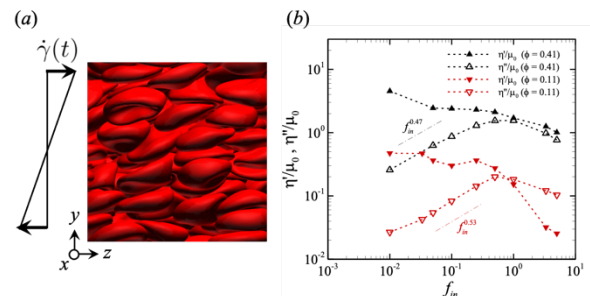


Fig.1 (a) Snapshot of a dense suspension of RBCs ($\phi = 0.41$) for the lowest shear frequency $f_{in} = 0.01$. (b) complex viscosity η' / μ_0 and η'' / μ_0 in dilute and dense suspension of RBCs ($\phi = 0.11$ and 0.41) as a function of the input frequency f_{in} .

4. 結言

本研究では、振動せん断流れ場における赤血球懸濁液の粘弾性特性を評価した。粘性成分 η' / μ_0 は周波数の増加に伴い減少するが、弾性成分 η'' / μ_0 はある特定の周波数帯 $f_{in}(=0.5)$ で極値をとり、これらの傾向は赤血球体積率に依存しないことがわかった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H04504, 及び SHINKA grant(OIST)の助成を受けたものである。

文献

- 1) Chien, S., *Science*, **168**, 977-979, 1970.
- 2) Takeishi et al., *J. Fluid Mech.* **872**, 818-849, 2019.
- 3) Batchelor, G. K., *J. Fluid Mech.* **41**, 545-570, 1970.
- 4) Skalak, R. et al., *Biophys. J.* **42**, 413-438, 1973.

機能性僧帽弁閉鎖不全症モデルを用いた 新規僧帽弁形成デバイスの開発と機能性評価

岡本裕成*, 森村隼人**, 高田淳平***, 峰田紫帆****,
尾嶋浩太*, 田端実*****, 岩崎清隆*, **, ***, ****

*早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻[〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2]

**早稲田大学大学院 先進理工学研究科 共同先端生命医科学専攻

***早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科

****早稲田大学大学院 先進理工学研究科 生命理工学専攻

*****順天堂大学医学部附属順天堂医院 心臓血管外科

1. 緒言

経カテーテル的僧帽弁形成(TMVr)デバイスにより僧帽弁治療は大幅に低侵襲化された。現在日米で使用可能なデバイスは一製品に留まり、既存のデバイスでは困難な病変を治療する新規デバイスへのニーズは高い。本研究では TMVr デバイス開発を見据えて新たな逆流制御コンセプトである生体膜製人工弁尖を開発し、その性能を評価することを目的とした。

弁形成デバイスの治療効果を評価するためには僧帽弁閉鎖不全症を再現する必要があるが、動物を用いた病変モデル作製は費用対効果, 再現性の観点から効率的とは言えず, 現状で非臨床試験系は確立していない。そこで本研究ではこれまでにない動物弁由来疾患モデルを用いて機能性僧帽弁閉鎖不全症 (FMR: Functional Mitral Regurgitation) の病態を模擬した工学的評価系を構築し, 生体膜製人工弁尖の拍動流循環下での性能評価を行った。

2. 実験方法

ブタ心臓から僧帽弁複合体を摘出し, コラゲナーゼ溶液に液浸させて僧帽弁輪組織を構成するコラーゲン線維を分解させながら, 拡張用ダイレータを段階的に挿入して弁輪形状を拡大させ, FMR の特徴の 1 つである弁輪拡大を模擬した弁疾患モデルを作製した。作製した弁疾患モデルを生体内流量・圧力環境を模擬する拍動循環回路(図 1)に組み込み, 血行動態を計測した。また, 作製した弁疾患モデルに対して図 2 に示す生体性膜製人工弁を弁輪部から左心室にかけて留置し, 留置前後の血行動態を比較して逆流の改善効果を評価した。

3. 実験結果

中-高度の逆流(逆流率:47.9%)を有する弁疾患モデルを作製することができた。この弁疾患モデルに生体膜製人工弁尖を取り付けることにより軽度の逆流(逆流率:28.7%)まで軽減した。弁閉鎖挙

動時の逆流量は FMR 病変モデルが 0.98 ± 0.16 L/min であり, 生体膜製人工弁尖を留置させたモデルが 0.84 ± 0.25 L/min と 14 %程度の逆流改善にとどまった。一方, 弁閉鎖時の逆流量(Leakage)に関しては FMR 病変モデルが 0.68 ± 0.08 L/min であり, 生体膜製人工弁尖を留置させたモデルは 0.23 ± 0.15 L/min と 66 %改善された。

4. 考察

新規僧帽弁尖を僧帽弁疾患モデルの弁輪部に留置することにより, 弁閉鎖時の Leakage が顕著に減少させる効果があることを明らかにした。新規デバイスの有用性を研究開発において探索的に評価する際に, 生体組織を用いた疾患モデルを組み込んだ拍動循環シミュレータは有用であった。

5. 結言

本試験で生体膜製人工弁尖の有用性を明らかにした。この人工弁尖を心房・心室内に固定する方法やデリバリーシステムを考案し, カテーテル化を進めていく。

謝辞

本研究は, AMED の課題番号 JP22mk0101179 の支援を受けました。深く御礼申し上げます。

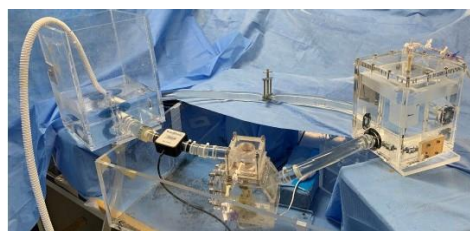


Fig.1 The pulsatile circulation simulator



Fig.2 Membrane valve

正弦曲線的せん断流れ発生装置を用いた 赤血球変形能評価システムの構築

金子侑香里*, Kriengsak Masnok**, 渡邊宣夫**

* 芝浦工業大学大学院 システム理工学専攻 [〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区大字深作 307 番地]

** 芝浦工業大学 システム理工学部 生命科学科

1. 緒言

変形能は、赤血球が循環中にその形状を様々に変化させる能力であり、全身の組織に酸素を運搬する際に必要不可欠である。この低下は、糖尿病などの疾患と関係するため、従来マイクロピペット吸引法やフィルター法などにより評価されてきた¹⁾。しかし、バイオマーカーとして医学応用するには更なる測定技術の発達が必要である。これまでに本研究室では、正弦曲線的なせん断流れを発生させる装置を製作し、複雑な流れに曝された単一赤血球に着目して変形能観察を行ってきた²⁾。しかし、流れを発生させるガラス板の平行度に課題があった。そこで本研究では、機構を改良して平行度を向上させるとともに、発生するせん断応力を実測する機能を組み込み、変形能を評価するシステムを構築することを目的とした。

2. 実験方法

流路を定義する機構は、負荷するせん断応力を正確に制御できるよう、図 1 のような構造に設計した。これに従い製作した機構を用いて観察実験、改良を行い、平行度の測定による妥当性評価を行った。さらに、実際に発生している流れを実測するため、装置にレーザ変位センサを取り付け、装置駆動と同時にせん断応力を算出するプログラムを作成した。

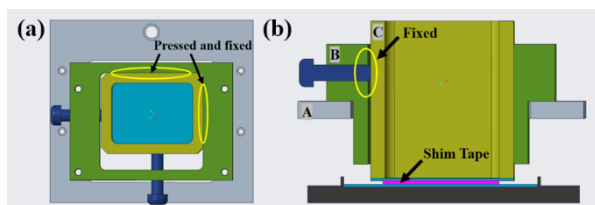


Fig. 1 (a) Top view and (b) cross section of the mechanism.

本研究では、本学の生命工学研究倫理審査委員会にて承認の下、試験的に 2 名の成人女性の血液を用いて実験を行った。機構の流路幅は、0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06mm に設定した。取得したビデオファイルを画像解析し、血球の長軸 L と短軸 W の比 (L/W) と式 (1) で算出する変形指数 DI により変形能を評価した。

$$DI = (L - W) / (L + W) \quad (1)$$

3. 実験結果

設計時よりシムテープの固定場所を変更したところ、機構の平行度は 0.0015mm/50mm に改善することができた（従来：0.05mm/50mm）。これにより、血球が 3~4 周期分変形する様子を観察することが可能となった。さらに、せん断応力と変形指数の経時的变化を示すと、図 2 のようになった。

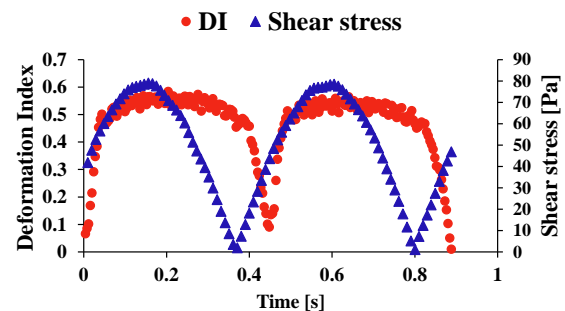


Fig. 2 Change of shear stress and DI at the gap size 0.02mm.

4. 考察

図 2 より、DI の立ち上がりには要する時間と形状回復に要する時間の相違や、せん断に対して血球が遅れて変形する様子が見られた。これは変形能が、外力だけでなく細胞内液の粘性や膜粘弾性などにも依存するためと考えられる。今後は、粘度や血球密度などさらに詳細の条件を考慮して実験を重ねる必要がある。

5. 結言

本研究では、流れをより正確に制御可能な機構を製作し、複雑な流れに対する単一細胞の変形を経時的に評価するシステムを構築することができた。

文献

- 1) Mokken, F. Ch., Kedaria, M. and Henny, Ch. P.: The clinical importance of erythrocyte deformability, a hemorheological parameter, *Ann. Hematol.*, 64, 113-122, 1992.
- 2) Masnok, K., Inoue, M. and Watanabe, N.: Direct observation of deformation of individual red blood cells in oscillatory fluid flow produced using a generator of precise sinusoidal shear flow, *AIP Adv.*, 12, 1-13, 2022.

要旨

6月4日（日）

講演会場 1（F301）

OS3 血液レオロジーと微小循環

OS5 ティッシュエンジニアリング・

人工臓器

OS6 生体物質の構造形成と

機能発現・制御

正方形管内流れに浮遊する扁平楕円体の運動

藤澤勇亮*, 山下博士**, 板野智昭*, 関眞佐子*,***

* 関西大学システム理工学部物理・応用物理学科[〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

** 広島大学大学院統合生命科学研究所 *** 大阪大学基礎工学研究科

1. 緒言

ニュートン流体の管内流れに浮遊する粒子が、慣性に起因する揚力を受けることにより流れ方向に対して垂直方向にも動き、管の下流断面内で特定の位置を集中して通過する現象は Segre-Silberberg 効果として知られている¹⁾。粒子集中位置は粒子の大きさや形状、物性によって変化することから、この現象を血球や各種細胞の選別・分離に応用するマイクロ流体デバイスの研究が盛んに行われている。正方形管内流れ中の球形粒子では、粒子径と管幅の比 κ (閉塞率)やレイノルズ(Re)数によって、管断面の各辺の中央付近や対角線上などに粒子集中が起こる²⁾。本研究では、浮遊粒子を扁平楕円体として、非球形粒子が正方形管内を流れる場合の粒子運動を数値解析により調べた。

2. 解析方法

管幅が 4 に対して長軸と短軸の長さが $\sqrt{3/2}$ と $2/3$ である扁平な回転楕円体を浮遊粒子として、正方形管内流れ中の粒子挙動の数値シミュレーションを行った。同じ体積をもつ球形粒子の直径は 1 であり、閉塞率は $\kappa=1/4$ である。楕円体の運動はニュートンの運動法則に従うものとし、流体運動は連続の式とナビエ・ストークスの方程式に従うとして差分法と埋め込み境界法を用いて解析した。計算領域の主流方向(x 軸)長さを L とし、 $x=0, L$ で一定の圧力差を与えるとともに、速度に対して管断面中心に対し点対称な周期条件を課した。

対称性から、正方形管断面(yz 面)の第 1 象限半分(方位角が 0 と $\pi/4$ [rad]の間)の領域内の様々な位置から 3 通りの初期姿勢(楕円体の対称軸の向きが (a)x 方向, (b)管断面内の方位角方向, (c)動径方向)でスタートした楕円体の運動を解析し、重心位置の軌道と姿勢の変化を調べた。また、主流方向長さ L を変化させた場合の計算も行った。レイノルズ数を平均流速と管幅を用いて定義し、 $Re = 100\sim 400$ の範囲で解析を行った。

3. 解析結果と考察

楕円体の運動モードとして、図 1 に示す 3 種類が得られた。①rolling 運動: 対称軸(短軸)を回転

軸とする自転運動, ②flipping 運動: 楕円体の長軸を回転軸とする自転運動, ③swirling 運動: rolling 運動を伴った、管中心軸まわりの公転運動。

初期姿勢が(b)の場合楕円体は最初から rolling 運動を行うが、(a)と(c)の場合は flipping 運動から始め、rolling 運動に移行した。L=4 の場合、 $Re = 100\sim 300$ ではいずれの初期条件からスタートしても、y, z 軸上の平衡点(面心平衡点)まで移動し、その位置で rolling 運動を行う定常運動となった。しかし、 $Re=400$ では、初期位置や初期姿勢によって、最終的な運動モードとして、面心平衡点での rolling 運動だけでなく、対角線上の平衡点(対角平衡点)での rolling 運動や swirling 運動が見られた。初期条件や Re 数を同じにして L を大きくすると、swirling 運動の代わりに楕円体は面心平衡点で rolling 運動を行うようになった。球形粒子でもこの変化を確認した。swirling 運動は隣り合う粒子が点対称の位置にあって互いに反対向きに公転運動をすることにより起こることが推察された。

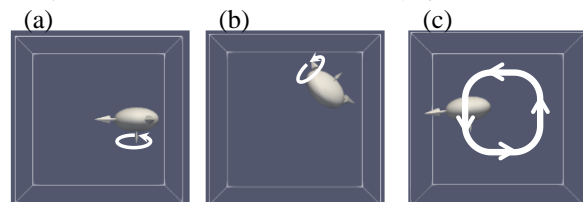


図 1 扁平楕円体の運動モード。(a) rolling 運動, (b) flipping 運動, (c) swirling 運動

4. 結言

正方形管内流れ中の扁平楕円体の運動を数値シミュレーションした結果、低レイノルズ数の場合面心平衡点での rolling 運動が得られた。レイノルズ数が大きくなると、隣り合う粒子間の相互作用によって巡回運動(swirling 運動)が起こることが示された。

謝辞

本研究の一部は科研費(20H02072)の助成を受けた。

文献

- 1) Segre, G. and A. Silberberg, A.: J. Fluid Mech. **14**, 136, 1962.
- 2) Shichi, H., Yamashita, H., Seki, J., Itano, T. and Sugihara-Seki, M.: Phys. Rev. Fluids **2**, 044201, 2017.

ラット腹部大動脈の血管壁力学場の操作による血管壁の菲薄化に関する検討

松居紗世*, 八木高伸*, 川村公一*, 小山達也*, 小谷優太*, 岩崎清隆*

* 早稲田大学 先端生命医科学センター(TWIns) [〒162-8480 東京都新宿区若松町 2-2]

1. 緒言

脳動脈瘤の発症・進展は血管壁の菲薄化と関係するが¹⁾, その原因は現段階でも解明されていない. 我々は, 菲薄化の原因を順に①血管壁力学場の微視的变化, ②平滑筋細胞(SMC)による弾性板(EL)の侵食, ③SMCの伸長増幅と集団的細胞死, ④細胞死に伴う血管構造の内部崩壊と仮説立てている. そこで本研究では, 血管壁力学場の操作を起点とした血管内部構造の崩壊による血管壁の菲薄化が再現可能な技術の確立を目的とした.

2. 実験方法

対象血管は生後 12 週オスの SD ラットの腹部大動脈とした. Fig. 1 のように, 0 リングで血管を 35% 狭窄することで軸伸長させた. そして, 拘束後 14 日における血管の形態, 細胞, 組織学的変化を光学顕微鏡(光顕)及び電子顕微鏡(電顕)を用いて組織染色により評価した(光顕:n=3, 電顕:n=1). 本研究は東京女子医科大学の倫理委員会で承認されている.

3. 実験結果

Fig. 2 に光顕分析の結果を示す. 拘束直下(b)は, 上流(a)及び下流と異なり細胞密度が低く, 空隙が多く見られた. 次に, Fig. 3 に血管上流, 拘束直下, 下流における中膜厚さのグラフを示す. 上流及び下流では中膜厚さが 100 μm であるのに対し, 拘束直下では 30% 減少していた. Fig. 4 に拘束直下の電顕分析の結果を示す. 拘束直下の菲薄部では EL の乱れや軸伸長した SMC の集団細胞死(赤枠)を確認した.

4. 考察

菲薄化の原因について考察する. 生体外実験において力学的負荷が SMC の細胞死を誘発すると知られている事から²⁾, 生体内においても同様の事象が発生したと考えられる. 血管壁が軸方向に伸長し, EL が乱れたことで, SMC の集団細胞死が惹起され, 細胞死に伴って空隙が発生することで菲薄化したと考えられた. すなわち, 狭窄による血管壁力学場の操作が直接, 形態学的変化をもたらしたのではなく, 生物学的変化を介して形態学的変化をもたらしたのではないかと考えられた.

5. 結言

血管壁の菲薄化は, 14 日間ラット腹部大動脈を 35% 狭窄することで再現できた. また, 菲薄化は血管壁の軸伸長による平滑筋細胞の集団死に伴い血管内部構造が崩壊することで生じたと示唆された.

謝 辞

本研究は科研費(22H00584, 19H04455)の助成を受けたものである. 関係者諸氏に御礼申し上げる.

文 献

- 1) Frosen J., et al.: Flow-induced inflammation-mediated arterial wall remodeling the formation and progression of intracranial aneurysms, 2019, 47(1): E21.
- 2) Florian W., et al.: Mechanical Stretch Induced Apoptosis in Smooth Muscle Cells Is Mediated by β_1 -Integrin Signaling Pathways, 2002, pp106-241.

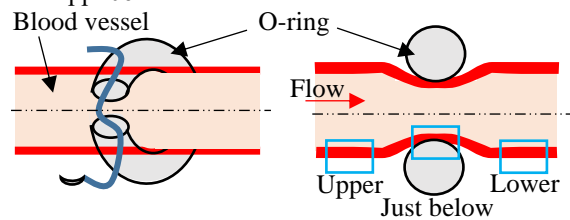


Fig. 1 Method of manipulation

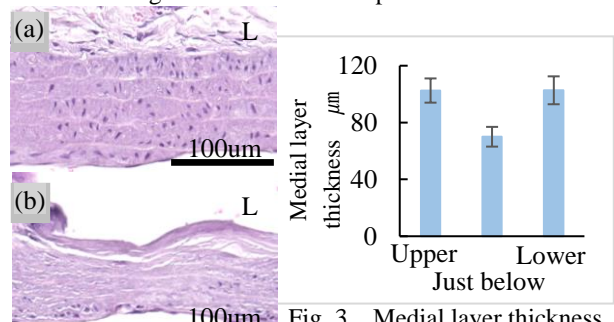


Fig. 2 Histological analysis (HE staining), L: Lumen

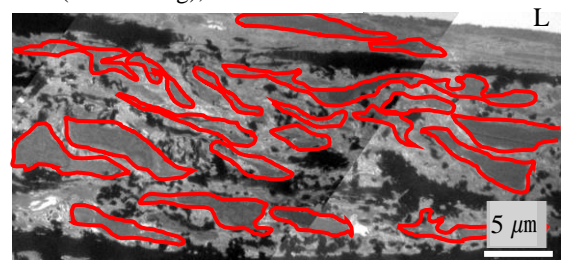


Fig. 4 Transmission electron microscopy image of smooth muscle cells

血漿/カルシウム溶液接触系における律速過程のクロスオーバー

土橋敏明*, 山本隆夫**

*群馬大学 [〒371-0044 前橋市荒牧町4丁目2番地]

**群馬大学 理工学府理工学基盤部門

1. 緒言

血液凝固能の異常を測定するための臨床検査では、クエン酸ナトリウム添加被検血漿（以下、血漿）と組織因子などの凝固トリガー物質を *in vitro* で混合し凝固時間を標準値と比較する。また、より情報量の多い方法として、混合後の動的粘弾性を測定する Thromboelastometry や血漿に組織因子を接触させて接触面からのクロットの成長過程を観察する Thrombodynamics も知られている。それらの情報と血液の性状を結びつけるためには理論的な考察が必要である。血漿にカルシウム溶液を接触させた系はカルシウムの流入がトリガーとなって凝固する単純な系であり、Thrombodynamics で用いられている系のより定量的な理解に役立つ。

以前の研究により、血漿/カルシウム溶液接触系では、一定の時間経過後、クロットが時間の $1/2$ 乗に比例して成長することがわかっている¹⁾。成長過程は界面移動描像から導かれる拡散律速の式で表され、フィッティングから得られるカルシウムイオンとクエン酸イオンの拡散係数及び単位体積の血漿あたりのゲル化に必要なカルシウムイオンの量は妥当な値であることが確かめられた¹⁾。しかし、拡散律速過程が始まる前の初期過程の解釈はできなかった。一方、最近、Thrombodynamics に用いられる血漿/組織因子接触系におけるクロットの成長は凝固不活性な高分子溶液が活性化する過程と活性化溶液がゲル化する過程の2段階過程で良く表されることが分かった²⁾。この場合、クロットの成長過程には、時間に比例する活性化律速過程から時間の $1/2$ 乗に比例する拡散過程へのクロスオーバーが観察される。このような2段階過程は血漿/カルシウム溶液接触系でも起きているはずである。本研究では、血漿/組織因子接触系に対して適用された考え方を血漿/カルシウム溶液接触系に応用し、クロスオーバーの意味について考察した。

2. 系と自由エネルギー

透析膜で封入した血漿を十分大きな体積の塩化カルシウム水溶液に浸漬した系を考える。血漿にカルシウムイオンが流入しクエン酸イオンが流出

する。その結果、血漿は透析膜との接触面からゲル化する。系の現象論的な自由エネルギーとして

$$f(\phi) = g\phi^2(\phi - 1)^2 + a\phi^2 \quad (1)$$

が考えられる。ここで、 g は正の定数であり、 a は血漿が不活性状態にあるとき正の値 a_0 をとり、活性状態にあるとき負の値 a_m をとる。ランダウーギンツブルグ型のダイナミクスを仮定すると、ゲル厚 $X(t)$ は

$$X(t) = Vt \quad (2)$$

であることが導かれる。また、濃度の関数であるゲル成長速度 V は

$$V \propto |a_m| \quad (3)$$

と近似できる。

3. 結果と考察

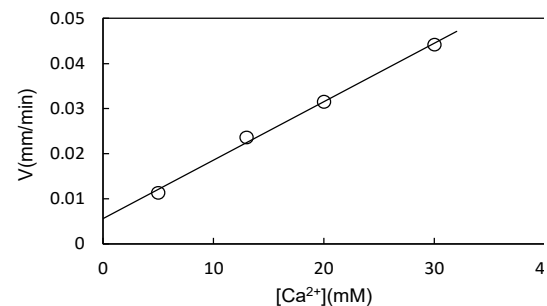


Fig. 1 Calcium ion concentration dependence of initial gel growth rate V

川端らの実験の初期過程から V を求め、浸漬液のカルシウムイオン濃度に対してプロットすると、直線的に増加することがわかった。ゲルフロントの位置のカルシウムイオン濃度は時間の経過とともに、単調減少していく。そのため、 V は初期速度より減少していき、 $X(t)$ はゲル厚と経過時間との直線関係(2)から外れ、上に凸の曲線となる。 $X(t)$ は拡散律速の時間の $1/2$ 乗に比例する成長曲線に接続されていき、エネルギー律速成長と拡散律速成長へのクロスオーバーにおいてトランジェントな領域が広く存在する。

文 献

- 1) 川端, 倉沢, 青柳, 篠田, 外山, 山本, 土橋, 小川, 第41回日本バイオロジ学会年会プログラム抄録集, 2018.
- 2) Kawabata et al., *Gels* **2021**, 7, 11.

アガロースゲルの物性におけるスクロース添加の効果

槇靖幸*, 大原志織*, 安中雅彦*

* 九州大学 大学院理学研究院 化学部門[〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744]

1. 緒言

アガロースは寒天の主成分であり、高温で水に溶解し、その溶液を冷却するとゲル化する。スクロースを添加するとアガロースのゲル化温度が上昇すること、形成されるゲルはより硬く透明になることが知られている。このようなゲルの物性の変化は、スクロースの添加により架橋領域の大きさが減少する一方で数が増加するためであると説明されることがある^{1,2}。しかし、スクロース水溶液は水より屈折率が大きいため、溶媒にスクロースを含むゲルでは高分子と溶媒の屈折率差が小さくなり、ゲルの網目構造に変化がなかったとしても、光散乱強度の小さい透明なゲルになるはずである。また、スクロースの添加によるアガロースゲルの応力緩和挙動の変化は溶媒のスクロース水溶液の粘度変化に支配されるという報告³もあり、ゲルの力学特性への溶媒粘度の影響も無視できないかもしれない。このように、アガロースゲルの物性に対するスクロースの影響はこれまで十分整理されてこなかったように思われる。本研究では、スクロースを添加して調製したアガロースゲルを純水で透析した試料を作製し、その物性をスクロース添加/非添加アガロースゲルと比較した。透析試料を用いることにより、ゲルの物性に影響を及ぼす様々な因子の切り分けを図り、アガロースゲルの物性に対するスクロースの影響をより明確にすることを試みた。

2. 実験方法

アガロースを90℃で水に溶解した後に、必要であればスクロースを加え、所定のアガロース・スクロース濃度になるようにした。この溶液を25℃で24時間静置してゲル化させた。また、スクロース添加ゲルを純水中で3日以上透析し、溶媒交換したゲルも調製した。ゲルの物性評価は、レオメーターを用いた一軸圧縮試験、可視光透過率測定、X線小角散乱および光散乱測定により行った。

3. 結果と考察

Fig. 1(a)に光散乱の測定結果を示す。スクロースの添加により散乱強度は減少するが、透析するとスクロース非添加ゲルと同程度の散乱強度を示

した。このことは、スクロース添加によるゲルの透明度上昇の主な要因は、溶媒と高分子の屈折率差減少であることを示す。一方で、Fig. 1(a)の縦軸をスケールして散乱関数を比較すると、調製時のスクロース添加の有無により散乱関数の形状が異なることがわかった (Fig. 1(b))。このことから、スクロースを添加してゲルを調製することにより、ゲルの網目構造に変化が生じることも事実であることが示された。

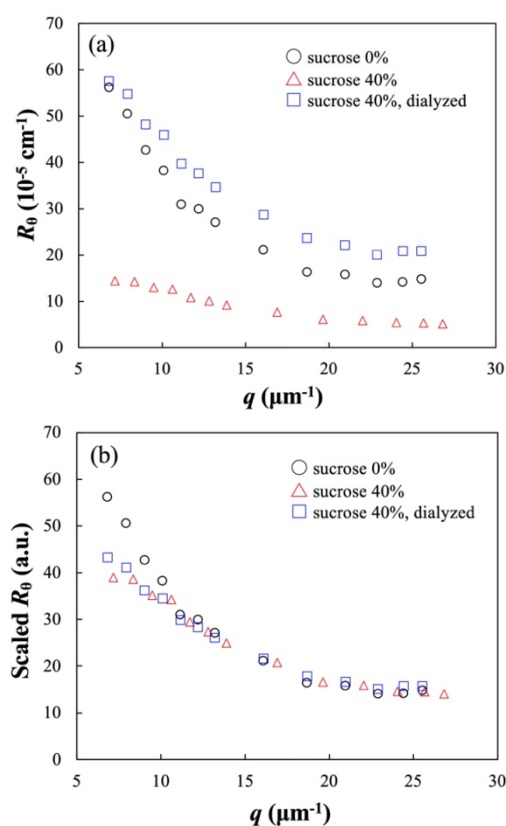


Fig. 1 The Rayleigh ratio R_θ (a) and the scaled R_θ (b) against the scattering vector length q of the agarose gels prepared with and without sucrose, and the gel sample dialyzed in water after the preparation with sucrose.

文 献

- 1) Nishinari, K. et al: The effect of sucrose on the thermo-reversible gel-sol transition in agarose and gelatin. *Polym. J.*, **24**, 871-877, 1992.
- 2) Normand, V. et al: Effect of sucrose on agarose gels mechanical behaviour. *Carbohydr. Polym.*, **54**, 83-95, 2003.
- 3) Kaneda, I.: Effect of sweeteners on the solvent transport behaviour of mechanically-constrained agarose gels. *Gels*, **4**, 23, 2018.

要旨

6月4日（日）

講演会場 2（F302）

OS7 食品およびソフトマターの
レオロジー（2）

電気インピーダンス分光法(EIS)を用いたアイスクリームの形態構造発達段階のスペクトレオロジーモデル開発

ヨセフス・アルディーノ・クルニアント・プライトノ^{a)}, 横溝 周^{b)}, 武居 昌宏^{a)}
^{a)}千葉大学工学研究院 人工システム科学専攻 [〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33]
^{b)}千葉大学融合理工学府 基幹工学専攻

1. 緒言

アイスクリームをはじめとする乳製品業界では、非侵襲的に形態構造変化をその場で検出できる電気インピーダンス分光法(EIS)が注目されている。アイスクリームの形態構造発達の段階は、脂肪球の凝集率や気泡の混入に伴うテクスチャや構造的な特性に関係がある(Biglarian et al., 2022)。しかしながら、EISを用いた形態構造発達の測定は、電気的パラメータと粘弾性パラメータとの相関関係の信頼性という問題があった。

そこで本研究では、EIS、オーバーラン(OR)、粘度を計測し、アイスクリームの形態構造発達段階のスペクトレオロジーモデルを開発した。

2. 実験方法

スペクトレオロジーモデルの開発には、山田乳業株式会社製のアイスクリームミックス(乳脂肪分15.0%, 無脂乳固形分10.0%)を用いた。市販のアイスクリームメカにより回転数約45rpmの一定速度で攪拌し、誘電正接 $\tan \delta_s$ をインピーダンスアナライザで、オーバーラン(OR)を電子天秤で、粘度(μ)を粘度計でそれぞれ測定した。ここで、EISには攪拌容器内部に設置したSMB同軸センサとインピーダンスアナライザ(IM7581, 日置電機)を用い、印加電流1[mA]、掃引周波数0.1~300[MHz]で計測したインピーダンススペクトルZから複素誘電率 ϵ^* を得た。誘電正接 $\tan \delta_s$ は、は比誘電率と誘電損失の比と定義される。オーバーランは、攪拌前のアイスクリームの重量と攪拌によるアイスクリーム重量変化の割合から算出した。粘度は回転式粘度計により測定した。

3. 実験結果

Fig.1にEIS(電気的損失正接 $\tan \delta_s$)とOR- μ の攪拌時間 t に対するスペクトレオロジーモデルについて示す。形態構造発達の段階はStage1から3の3段階に分割でき、Stage2($t < 300$ s)において、ORの急速な増加が観察された。Stage3($t < 480$ s)においては、脂肪球の凝集が十分に進行し、形態構造中の気泡の安定化が見られた。

ここで実験結果に基づき、電気的損失正接 $\tan \delta_s$ とORおよび粘度 μ の各パラメータに基づくEIS測定結果の相関性を表現するスペクトレオロジーモデルを開発した。その結果、それぞれの相関関係に対して2種類の数式モデルを得た。

- 1) $\tan \delta_s$ -OR: a) $OR = -24.05 \tan \delta_s + 14.3$ ($t < 360$ s)
 b) $OR = -325 \tan \delta_s + 158.2$ ($t > 360$ s)
- 2) $\tan \delta_s$ - μ : a) $\mu = -62.5 \tan \delta_s + 36.875$ ($t < 480$ s)
 b) $\mu = -190 \tan \delta_s + 97.5$ ($t > 480$ s)

4. 考察

アイスクリームの攪拌におけるEISとOR- μ 間のスペクトレオロジーモデルが提案され、それぞれの二乗平均平方根誤差(RMSE)はそれぞれ $\tan \delta_s$ -ORで0.168、 $\tan \delta_s$ - μ で 8.99×10^{-15} と非常に良く、スペクトレオロジーモデルの形態構造発達に対する高い精度を示している。今後は、より多くの種類のアイスクリーム素材に対し同様の実験を実施し、より広範囲のスペクトレオロジーモデルを作成し検証を行う予定である。

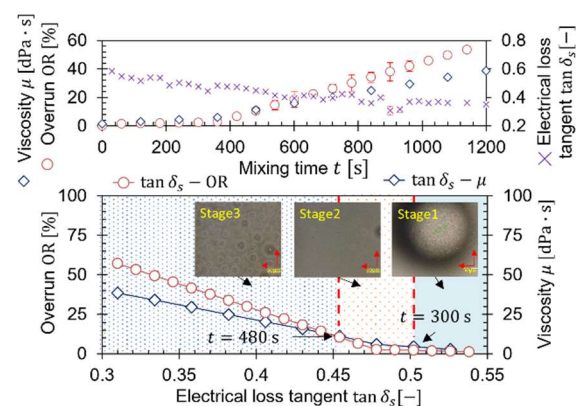


Fig.1 Experimental results and Spectro-Rheology model over mixing time t .

文献

- 1) Biglarian, N., Rafe, A., Shahidi, S. A., & Lorenzo, J. M. (2022). Rheological, textural and structural properties of dairy cream as affected by some natural stabilizers. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1–16.

電気インピーダンス・スペクトロスコピー法（EIS）を用いた ホイップクリームの攪拌時における形態構造変化の検出

横溝周^{a)}, ヨセフス・アルディーノ・クルニアント・プライトノ^{b)}, 武居昌宏^{b)}

^{a)}千葉大学融合理工学府 基幹工学専攻 [〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33]

^{b)}千葉大学工学研究院 人工システム科学専攻

1. 緒言

高品質な乳製品の高効率かつ低コストな産業的製造には、例えば攪拌工程における品質管理が不可欠である。近年の食品業界において、測定対象のインピーダンススペクトルを解析する電気インピーダンス・スペクトロスコピー法（Electrical Impedance Spectroscopy ; EIS）を用いたインライン計測技術の適応性と実現性が注目されている。ここで、EISでは測定対象の機械的・物理的特性が誘電体としての電気的特性として掃引周波数に対して応答し誘電緩和を示し、誘電緩和は攪拌に伴う気泡の混入や脂肪球の凝集といった形態構造の段階的変化を反映しているため、誘電緩和の変化から形態構造の変化を検出できると考えられる。

そこで本研究では、乳製品のうちホイップクリームについて着目し、ホイップクリームの攪拌作業に対して適宜 EIS 計測を実行し、攪拌に伴う電気的特性と物理的特性それぞれの変化について比較して考察した。

2. 実験方法

EIS 計測には日置電機製のインピーダンスアナライザ IM7581 を用い、同軸ケーブルにより SMA センサと接続した。雪印メグミルク製のホイップクリーム（植物性脂肪 40%、無脂乳固形分 3.5%）400mL を、愛工舎製の卓上ミキサ KPL9000S で攪拌し、30 秒ごとにミキサ内部からホイップクリームをサンプリングし、都度インピーダンス測定を実行した。得られたインピーダンススペクトル Z から複素誘電率 ϵ^* を算出し、その実部と虚部の比から誘電正接 $\tan \delta$ を得た。

加えて、EIS 計測と平行してオーバーラン測定を行った。オーバーランは攪拌前の重量に対する攪拌による重量変化の比率から計算される。

3. 実験結果及び考察

Fig. に EIS 計測とオーバーラン測定の結果を示す。なお、いずれも複数回の実験の平均値と標準偏差を示している。左縦軸に示すオーバーランの値は、攪拌開始後しばらくも間は増加傾向にある

が、 $t = 2.5$ [min] でピーク値に達した後に減少に転じる降伏曲線を示すことが読み取れる。これは攪拌初期では気泡の混入により体積が上昇し、形態構造がある程度安定化すると微細化の段階に転じ体積が減少するためである。その一方、右縦軸に示す $\tan \delta_{fc}$ の時間変化はオーバーランと非常によく似た降伏曲線が得られた。また、標準偏差の大きさについて注目すると、 $\tan \delta_{fc}$ のうち特に攪拌開始直後において測定値のばらつきが大きい傾向が見られる。これは EIS 計測時にセンサ内部で進行した気泡の消滅等に起因するホイップクリームの動的な構造変化の影響によるものと推測でき、攪拌初期における形態構造の不安定性を反映していると考えられる。

4. 結言

$\tan \delta_{fc}$ と OR から計算される相関関数の RMSE 値は、降伏点以前で 0.05、降伏点以後で 0.06 といずれも非常に良好な数値が得られた。ゆえに EIS 計測はホイップクリームの形態構造変化をよく反映していると言え、乳製品の攪拌工程に対する EIS 計測を用いた攪拌状態の定量的評価の実現可能性を示唆している。

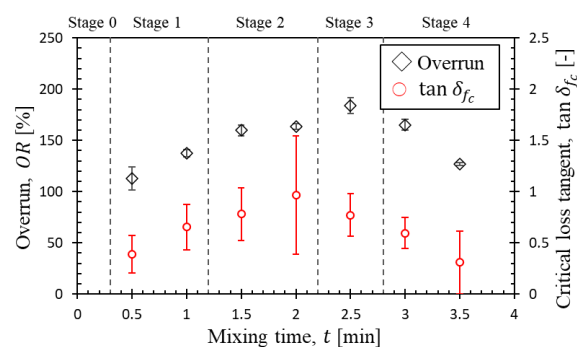


Fig. Comparison of Overrun OR and electrical loss tangent at critical frequency $\tan \delta_{fc}$ over mixing time t

ホイップクリームの微視的流動特性

藤森 安美, 藤井 修治

東洋大学 食環境科学科 [〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1]

1. 緒言

本研究の目的はホイップクリームの破壊挙動を力学計測と画像解析により明らかにすることである。ホイップクリームの硬さは、クリーム of 攪拌による気泡の導入と、攪拌時に形成される脂肪球の凝集構造によって生じる。硬さ(弾性率)は食感に関係する重要な物理量である。したがって、脂肪球凝集構造の破壊と力学挙動との因果関係を知ることがホイップクリームの品質上重要である。本研究では、脂肪球の凝集構造破壊と気泡の配置変化に着目し、凝集構造破壊と力学挙動との因果関係を明らかにする。

2. 実験方法

市販の植物性生クリーム(雪印メグミルク 植物性脂肪分 40%)を購入し、温度 20°Cのもとハンドミキサーを用いて 50 秒間ホイップした。レオメーター(Anton Paar MCR302)を用いてホイップクリームに 1Hz の振動ひずみを与えることにより弾性率測定を行うと同時に、顕微観察により気泡の配置変化を記録し、その移動量を解析した。気泡の観察は対物レンズ 10 倍、4 倍、2 倍を用いて行った。また、脂肪球を蛍光色素で染色し、対物レンズ 20 倍を用いて蛍光観察を行った。

3. 実験結果と考察

振動ひずみによる弾性率測定結果を図 1 に示す。縦軸の弾性率 G' は弾性成分を、 G'' は粘性成分を表す弾性率である。振動ひずみ量 γ が小さな領域では弾性成分 G' が粘性成分 G'' を上回っており、泡は弾性が支配的な固体的領域にあることがわかる。振動ひずみ量が増大するにつれ、力学特性は弾性と粘性が一致する中間領域に、さらに増すと粘性が弾性を上回り液体的領域へと変化する。以上より、ホイップクリームが固体状態から液体状態へと変化する過程は 3 つの領域に分けられることがわかる。

画像解析により各領域における気泡配置を調べたところ、気泡は振動方向に配列するように徐々に配置を変えることがわかった。

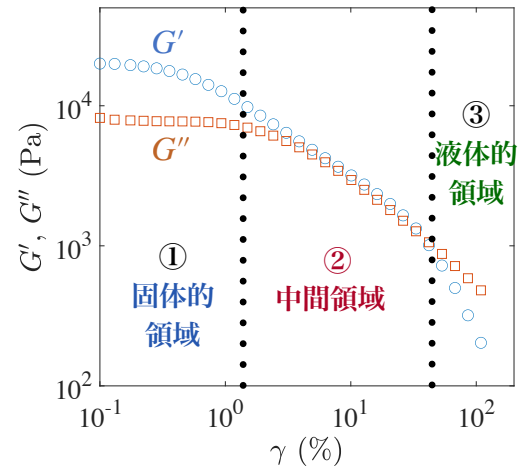


図1. ホイップクリームの弾性率(G' , G'')の振動ひずみ量依存性。

気泡の観察とは独立に脂肪球の凝集構造観察を行った結果、弾性率の歪み依存性に非線形性が発現する歪み付近から脂肪球凝集構造の破壊が進行しはじめ、液体的領域に入ると凝集構造は破壊された。凝集破壊は気泡表面近傍で特に大きく進む様子が観察された。

歪みの増加によりマトリクス中に分散している脂肪球の凝集構造は破壊されていくため、気泡の空間配置変化は脂肪球の凝集構造破壊を伴いながら進行していくと考えられる。振動ずり変形により気泡が配列するように空間配置を調整するのは、破壊されていく脂肪球の凝集体と気泡との間で力学的バランスを取るためと考えられる。

4. 結言

ホイップクリームが固体から液体へと変化するメカニズムを力学測定と顕微観察により調べた。その結果、1. 変化過程が固体的領域、中間領域、液体的領域の 3 領域に分けられること、2. 振動ひずみ増大とともに気泡の移動量も増大すること、そして、3. 液体成分の粘性が気泡の移動移動のしやすさに関与することが分かった。

ゼラチンの綿菓子化に及ぼす砂糖の効果

小久保 美穂, 柘 智拓, 藤井 修治*

東洋大学 食環境科学科 [〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1]

1. 緒言

綿菓子の特徴的は、柔らかな食感とすばやい口溶けにある。これらの特徴は咀嚼と嚥下のし易さを両立しているため、綿菓子は機能性食品としての可能性を持つ。綿菓子の機能性を ザラメ以外の食材で実現出来ないかと考え、ゼラチンの綿菓子化に取り組んできた。これまで、ゼラチン水溶液に酸を加えることにより、繊細な綿菓子状の繊維体を得ることに成功したが、フレーバー添加の影響は検討できていなかった。本研究では、綿菓子状食品製造の基盤技術を確立すべく、ゼラチン濃度を固定したまま代表的なフレーバー成分である砂糖を加え、綿菓子状繊維体を得るための手法を確立することを目的とした。

2. 実験方法

市販の綿菓子機を、回転速度と窯温度を独立に制御できるように改良し、ゼラチン濃度 30wt% 水溶液で綿菓子状繊維体を作成した。得られた綿菓子状繊維体の顕微鏡観察を行い、平均繊維径を求めた。また、ゼラチン濃度一定のまま、溶媒に酢酸、クエン酸、砂糖を加えることにより溶液の粘性率を調整し、溶液の粘性率と繊維径の因果関係を調べた。溶液の粘性率は落球法により調べた。

ゼラチンと砂糖の組み合わせは、グミなど菓子類の代表的な組み合わせである。ゼラチン濃度を 30wt% に固定したまま砂糖を 60wt% 近くまで加え、フレーバーを持つ繊維体の形成条件を検討した結果、砂糖を添加したゼラチン水溶液についてもこれまで同様の手順で綿菓子状繊維体を作成することができた。しかし、砂糖濃度 58.8wt% 以上では綿菓子状繊維体を得ることはできなかった。綿菓子は溶融した液体が回転する窯から遠心射出されることにより形成される。回転する綿菓子機により溶融体に作用する遠心力と粘性応力の力学バランスと質量保存法則を考慮した綿菓子の力学モデルを考慮し、繊維径 r を表す(1)式を得た。

$$r \sim A \sqrt{\frac{\eta}{\rho} \omega^{-1}} \quad (1)$$

ここで、 A は綿菓子機の幾何学的寸法に依存する装置定数であり、 η は粘性率、 ρ は溶液の密度、 ω は窯の回転角速度である。溶液密度 ρ は一定

という仮定の下、(1)式は、繊維径 r が溶液の粘性率 η とともに増大することを予測する。(1)式を用いると、ゼラチン水溶液の繊維径 r_{gel} と砂糖添加系の繊維径 $r(c)$ との比は、(2)式のように溶液の粘性率の比で与えられる。

$$r(c)/r_{gel} \sim \sqrt{\eta(c)/\eta_{gel}} \quad (2)$$

3. 実験結果

(2)式の予測の妥当性を検証するため、繊維径比と粘性率比を比較した(図 1)。酢酸濃度が増加すると、線形性は成立しないが、繊維径の粘性率に対する依存性は明確である。(1)式は非常に単純なものであるが、綿菓子状繊維体の形態制御において、粘性率が重要であることがわかる。落球法で粘度測定をし、繊維径と粘性率の関係を図 1 にまとめた。粘性率の増加とともに確かに繊維径が大きくなることわかる。

4. 結言

本研究では、ゼラチン水溶液にフレーバーとして砂糖を添加すると、水溶液の粘性率増大とともに繊維径も大きくなり、その挙動は(1)式により十分に説明できることがわかった。綿菓子状食品製造の基盤技術開発のための基礎的知見となるといえる。

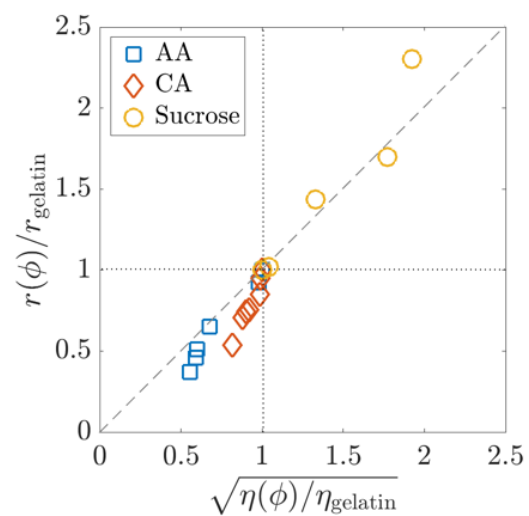


図 1. 繊維径の粘性率依存性。

要旨

6月4日 (日)

講演会場 1 (F301)

OS4 細胞・分子のメカノバイオロジ-

微小重力条件下における血管内皮細胞の形態的応答

矢部 達也*, 大橋 俊朗**

*北海道大学工学部 [〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目]

**北海道大学大学院工学院

1. 緒言

血管内皮細胞は生体内において常に血流に晒されており、血流方向に伸張・配向していることが知られている。実際に、培養系で24時間にわたりせん断応力2Paを24時間にわたって負荷すると、内皮細胞は流れの方向に伸張・配向する¹⁾。この力学応答機構の存在により、内皮細胞は血管径の制御、物質透過性の制御、抗血栓性の制御など血管の生理において重要な様々な機能を調整している。近年、人類の宇宙空間への進出が開拓されつつあるが、無重力環境が人体に与える影響について、実験実施に大きな制約があることもありこれからの研究が期待されている。そこで、本研究では、コラーゲン・ゲル上培養した内皮細胞に微小重力を負荷し、細胞の形態的応答を評価することを目的とした。

2. 実験方法

培養細胞としてウシ大動脈内皮細胞を用いて、コラーゲン・ゲル上培養、微小重力負荷実験およびアクチンフィラメントの蛍光染色観察を行った。コラーゲン・ゲルはCellmatrix Type I-A、5倍濃縮の培養液および再構成用緩衝液を7:2:1の割合で混合した混合溶液を培養ディッシュ内でゲル化させることによって作製し、この上に内皮細胞を播種して培養を行った。その後、二軸回転を利用した小型の微小重力負荷装置であるクリノスタット

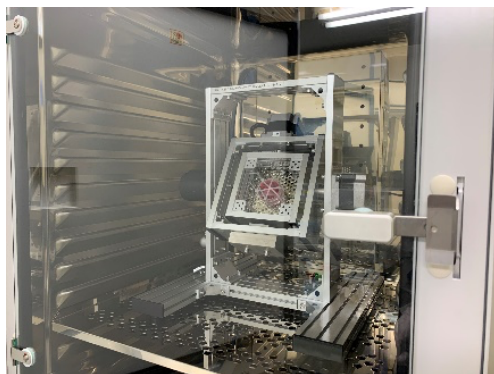


図1 クリノスタットを用いた微小重力負荷実験。クリノスタットは、サンプルをX軸とY軸の2軸周りで回転させることによる重力ベクトルの分散を原理としている。

(エイ・イー・エス) (図1) を用いて、6日間にわたり微小重力負荷を行った。

続いて、微小重力負荷による細胞骨格への影響を観察するため、共焦点レーザー顕微鏡を用いてアクチンフィラメントの蛍光観察を行った。

3. 実験結果および考察

共焦点レーザー共焦点顕微鏡を用いて観察したコントロール群と実験群(微小重力負荷)のアクチンフィラメントの蛍光画像を図2にそれぞれ示す。コントロール(図2左)では細胞のアクチンフィラメント同士が結合する接着結合が頻繁に観察され、アクチンフィラメントも長く伸長している一方で、微小重力負荷を与えた実験群(図2右)では細胞のアクチンフィラメントが短く、また接着結合も比較的少なかった。このことから、微小重力負荷に対する細胞応答として、接着結合が緩められた他、アクチンフィラメントがアクチン単量体に解離する傾向が強まったと考えられる。

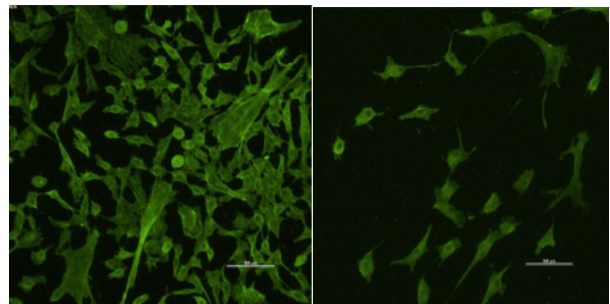


図2 コントロール(左)および実験群(右)のアクチンフィラメント蛍光像。スケールは100 μm。

4. 結言

本研究では、微小重力負荷に対する内皮細胞の形態的応答について検討した。その結果、微小重力負荷はアクチンフィラメント同士の接着結合を抑制することが示された。

文献

- 1) Sakamoto N., Saito N., Han X., Ohashi T. and Sato M.: Effect of Spatial Gradient in Fluid Shear Stress on Morphological Changes in Endothelial Cells in Response to Flow, *BBMC* **395** (2), 264-269, 2010.

血管内皮細胞による NO 産生と衝突噴流環境との関係

沢崎薫*¹, 山崎瑠海*¹, 高橋幸慈*¹, 中村匡徳*², 木村直行*³, 川人宏次*⁴, 坂元尚哉*¹

*¹ 東京都立大学 機械システム工学域 [〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1]

*² 名古屋工業大学 電気・機械工学科

*³ 自治医科大学附属さいたま医療センター 心臓血管外科

*⁴ 自治医科大学 心臓血管外科

1. 緒言

大動脈弁の形態異常である大動脈二尖弁患者において、拍出される血流が噴流となり上行大動脈内壁に衝突するような現象が明らかになった¹。二尖弁患者は大動脈瘤および解離の発症リスクが高く、このような特異的な血流環境の影響が指摘されているが²、その詳細は不明である。血管内腔に存在する血管内皮細胞は、血流に伴う力学刺激に応じてその形態や機能を変化させることで血管壁の恒常性維持に重要な役割を果たしており、内皮細胞の機能不全や損傷・剥離は大動脈疾患発症の原因となり得る。我々はこれまでに、衝突噴流環境下で壁せん断応力と法線方向動圧が高まる領域で内皮細胞の剥離が生じ、細胞間接着分子発現も低下することを確認している³。

内皮細胞が産生する一酸化窒素 (NO) は、壁せん断応力の大きさに応じて産生されることが知られており、血管拡張や血小板凝集抑制、抗炎症など血管生理機能に重要な役割を担う。しかし一方で、過剰な NO 産生は細胞死を引き起こすなど血管病理にも深く関わっている^{4,5}。そこで本研究では、衝突噴流環境下の培養内皮細胞の NO 産生を評価した。

2. 実験方法

実験にはヒト大動脈内皮細胞 (Lonza) を用いた。細胞培養面上部に直径 4 mm の流入口を設けた逆 T 字型の流路を持つフローチャンバを用い、培養内皮細胞に対して平均流入流速 0.25 m/s (最大壁せん断応力 20 Pa) の衝突噴流を 2 時間負荷した。衝突噴流負荷後、NO 蛍光指示薬 DAF-FM DA (五稜化薬) を取り込ませた内皮細胞を共焦点レーザー顕微鏡 (Olympus) で観察し、DAF-FM 蛍光輝度により内皮細胞の NO 産生を評価した。

3. 実験結果・考察

先行研究と同様に、壁せん断応力と法線方向動圧が高まる領域において内皮細胞が部分的に剥離することを確認した。衝突噴流負荷後の内皮細胞は、全体的に静置培養と比較して DAF-FM 蛍光輝

度が高かった。剥離部周辺で剥離せずに残った細胞では、よどみ点付近の内皮細胞と比較して 2 倍以上の特に高い DAF-FM 蛍光輝度が観察された。

我々は過去に、法線方向動圧が生じない平行平板型フローチャンバを用い、本研究と同程度の 20 Pa の壁せん断応力のみを負荷したところ、NO 産生は増加するものの剥離しないことを別途確認している。そこで、DAF-FM 蛍光輝度に対して壁せん断応力および法線方向動圧を変数として重回帰分析を行った結果、いずれも有意な相関がみられた ($p < 0.05$)。よって、衝突噴流特有の壁せん断応力と法線方向動圧の組み合わせ環境が過剰な NO 産生を引き起こし、それに伴う酸化ストレスが内皮細胞の剥離に関与している可能性が考えられた。今後は、酸化ストレスによるアポトーシスやミトコンドリア損傷への影響、および NO 産生阻害剤を用いた NO 過剰産生と細胞剥離の関連の検証を行う。

4. 結言

本研究では、衝突噴流環境下の培養血管内皮細胞の NO 産生を評価した。培養内皮細胞に対して衝突噴流を負荷した結果、壁せん断応力と法線方向動圧が高まる領域で内皮細胞の NO 産生が増加した。衝突噴流特有の力学環境が内皮細胞の過剰な NO 産生を引き起こし、細胞の剥離に関与する可能性が示唆された。

文 献

- 1) Kimura, et al., *J Thorac Cardiovasc Surg.*, Vol. 153, No. 4, 52-62, 2017
- 2) Rooprai, et al., *J Am Heart Assoc.*, Vol. 8, No. 8, e010885, 2019
- 3) 沢崎, ほか, 第 33 回バイオエンジニアリング講演会, 2021
- 4) Chistiakov, et al., *Acta Physiol (Oxf)*., Vol. 219, No. 2, 382-408, 2017
- 5) Murphy, *Biochim Biophys Acta.*, Vol. 1411, No. 2-3, 401-414, 1999

流路を通過する細胞の変形の観察のための平行壁面間微小ギャップの製作

橋本成広*, 上原章吾**

* 工学院大学 機械工学科 [〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2]

**工学院大学 システムデザイン専攻

1. 緒言

生体内で、赤血球が毛細血管を通過したり、細胞が微小隙間を通過したりする現象は、広く知られている。生理流体の中で細胞が変形する様子を詳細に観察するために、本研究では、平行壁面間微小ギャップ¹⁾を製作した。

2. 実験方法

フォトリソグラフィ技術を利用したマイクロ加工²⁾により、ポリジメチルシロキサン製平板とホウケイ酸ガラス平板との間に幅 0.4 mm, 長さ 0.1 mm, 高さ 7 μm の平行壁面間ギャップを作成した。このギャップを、幅 0.6 mm, 長さ 16 mm, 高さ 40 μm の平行壁面間流路の中央に配置した。流路壁面をプラズマアッシング処理した後、ウシ血清アルブミン溶液を充填した。直前に用意したマウス筋芽細胞 C2C12 懸濁液を入口・出口水頭差で流し、ギャップ通過の細胞の様子を光学顕微鏡にて観察した。録画された画像から得た静止画における細胞の輪郭によって囲まれた 2 次元投影面積、輪郭の楕円近似による長軸・短軸比 (変形度)、長軸と主流の方向との間の角度を追跡した。

3. 実験結果

実験に用いられた浮遊筋芽細胞は、ギャップの通過において様々な挙動を示した。直径の小さい細胞は、加速しながらギャップを通過した。浮遊時の直径がギャップ高さの 2 倍程度の細胞は、通過時に、周囲の液体よりも速度を落として通過した。その際、円柱状につぶれて投影面積の変化を伴いながら、流れに平行あるいは垂直に伸びる様子が観察された。その変形は、ギャップ侵入前の変形・自転に伴う 2 次元投影面の形状変形とは形式が異なっていた。

4. 考察

本実験で用いられた流れの条件では、ギャップ侵入前の流路において、流体の密度 ($1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)・細胞の速度 (代表速度 $2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$)・流体の粘性係数 ($1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$)・平行壁面間の距

離 (代表長さ $4 \times 10^{-5} \text{ m}$) を用いるとレイノルズ数は 0.05 と算出され、乱流の無い粘性流れに分類される。本実験において用いられた平行壁面間のギャップでは、通路長さ 0.1 mm が細胞の直径約 15 μm よりも長い。このため、通路長さが短いスリットや、微小円管中での変形よりも、細胞が通過しにくいので、大幅な細胞変形を長時間にわたって追跡できる。流れの中での細胞の変形挙動は、細胞の識別・選別³⁾への応用が考えられ、細胞診断や再生医療分野への貢献が期待される。

5. 結言

フォトリソグラフィ技術により製作された平行壁面間微小ギャップにより、通過する細胞の変形の詳細 (2 次元投影面積・変形度・変形方向) の追跡が可能となった。

謝 辞

製作・実験に協力いただいた高橋優輔氏、滝口悠喜氏に、厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Hashimoto, S.: Cell Behavior in Flow Passing Through Micromachined Gap. *ASME Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy*, **5**(4), 1-6, 2022. (DOI 10.1115/1.4054261)
- 2) Hashimoto, S.: Applications of Polydimethylsiloxane: Microstructure of Functional Surface for Observation of Biological Cell Behavior, P. N. Carlsen (Ed.), Chap. 2, Nova Science Publisher, New York, 2020, pp. 29-94.
- 3) Hashimoto, S.: Behavior of Cell Flowing Over Oblique Microrectangular Groove. *ASME Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy*, **5**(4), 1-8, 2022. (DOI 10.1115/1.4055016)

細胞外環境に応答した細胞内温度分布計測

佐々木沙織*, 平井祐士**, 世良俊博*, 工藤奨*

*九州大学大学院工学研究院 機械工学部門 [〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744]

**九州大学大学院工学府 機械工学専攻

1. 緒言

生体内の温度は生体分子の拡散、酵素活性、ヒートショックによる遺伝子発現などに影響を及ぼし、生体反応や事象の基本的なパラメータとなっている。また細胞内においては温度変化によって生化学反応が誘発され、一過性受容器電位チャネル (TRP チャネル) などのチャネルは温度依存的に活性化し、電気信号として細胞内部に伝播することが知られている。これまで細胞と温度に関する研究は盛んに行われているが、外部環境に応答した細胞内部の熱分布変化についてはほとんど調べられていない。

本研究では、外部環境を変化させた際に細胞の自発的な熱発生が起こるとする仮説を立て、細胞内の温度分布の外部環境応答を調べることを目的とした。本研究では温度感度の異なる2つの蛍光タンパク質を利用した、1励起2波長のレシオメトリック蛍光温度計 gTEMP を用いて細胞核とミトコンドリアの温度を可視化し、外部環境変化 (外部温度変化及び隣接細胞損傷) 時における温度分布変化を、チャネルの活性化に関連する Ca²⁺と共に調べた。

2. 実験方法

ウシ大動脈由来血管内皮細胞 (Bovine Aortic Endothelial Cells:BAECs) を使用した。細胞内の温度を測定する代表的なものとして 蛍光温度計が挙げられる。本研究では gTEMP を用い、核内 (nuc-gTEMP_pcDNA3) とミトコンドリア (mito-gTEMP_pcDNA3) の温度を算出した。

外部温度変化試験については、冷却または加温した HBS 溶液をペリスタポンプ (AC-2100, ATTA および SJ-1220, ATTA) で観察ディッシュに流し込むことで外部温度を変化させた。ポンプの流速は 100 μ l/s である。シャーレ内液温の変化を確認するために温度センサー (2-9250-01, AXEL) をチャンパーに取り付けて温度の計測を行った。

隣接細胞損傷試験については、先端径が 3 μ m 以下になるように作製したガラス針とマイクロマニピュレータ (MMO-203, NARISHIGE) を用いた。

3. 実験結果

gTEMP_nuc と gTEMP_mito を遺伝子導入した細胞に対し、30°C から 15°C に外部温度を下げた時の Ca²⁺ 蛍光輝度は、細胞質 (以下 cyto) において平均値で 4.5% (n=10), nuc で 14.3% (n=10) 増加した。p 値は p=0.00096 で有意差が認められた。細胞内温度は mito で -1.73°C (n=8), nuc で -2.49°C (n=5) の変化量となった。p 値は p=0.1426 で有意差は認められなかった。

次に対象となる細胞の隣接細胞に創傷を行い、温度変化を調査した。BAEC の平均温度上昇量 ΔT は、nuc で 0.91°C (n=7), mito で 2.15°C (n=13) を示した。p 値は、p=0.00013 で有意差が認められた。

4. 考察

スクラッチアッセイ時、遊走する細胞が温度上昇を起こすことはすでに先行研究で知られている。今回の結果では細胞温度上昇だけではなく、隣接部位において温度上昇が起こることを見出した。細胞外環境からの刺激により Ca²⁺が増加、それを検知してミトコンドリアの機能上昇でエネルギー産生により発熱、そのエネルギーを用いて細胞変形が行われている可能性を示唆している。

5. 結言

本研究では、温度と機械刺激により細胞外環境を変化させ、その時の核とミトコンドリアの温度を測定した。30°C から 15°C の冷却では核とミトコンドリアの有意差はなく、平均で 2.05°C の温度低下を確認した。隣接細胞の創傷では、創傷 5 分後に核で 0.91°C、ミトコンドリアで 2.15°C の温度上昇を生じ、有意差を確認した。細胞外環境の変化により、核とミトコンドリアで熱産生が起こること確認し、主にミトコンドリアが支配的である可能性を示した。

謝辞

本研究はオートレースの補助を受けて実施しました。

隣接細胞剥離時の遊走関連タンパク質の数値解析

佐々木沙織*, 江口慶太**, 牛島克恭**, 世良俊博*, 工藤奨*

*九州大学大学院工学研究院 機械工学部門 [〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744]

**九州大学大学院工学府 機械工学専攻

1. 緒言

細胞は創傷箇所を修復するため創傷部位に移動(遊走)する。我々は近年の研究において、隣接細胞剥離後の細胞近縁で PKC α (Protein kinase C α) が集積することを明らかにした。この結果は PKC α が遊走初期段階において遊走方向の決定に関係していることを示唆している。

我々はこのプロセスに関わる細胞内タンパク質として、MARCKS (myristoylated alanine rich protein kinase C substrate) に着目した。細胞受容体が活性化することで PKC α , MARCKS 等の各細胞内タンパク質へシグナル伝達が始まる。特に PDGF (platelet-derived growth factor; 血小板由来増殖因子) 受容体は PLC (phospholipase C) を介した経路で PKC α , MARCKS へ外部の刺激を伝達するため、損傷治癒において重要な役割を果たすと考えられている。

本研究では機械的な刺激を受けた直後の細胞内で一時的に PDGF 受容体が活性化すると仮定し、PKC α , MARCKS を組み込んだ 3 次元シミュレーションモデルを構築することで実験結果とシミュレーション結果の比較検討を行った。

2. 実験方法

本研究のモデルは Jamie らのモデルを参考に作成した。機械刺激を受けると PDGFR α が活性化し、PLC が Active Receptor と Ca²⁺ と結合して Active PLC を生成する (①)。Active PLC が PIP₂ の加水分解を促進し、DAG と IP₃ が生成される (②)。DAG はリン酸化して PA を生成する (③)。PA は PLC の活性化を促進する。また、PKC は Ca²⁺ と結合 (④) した後に DAG と結合して細胞膜に移行することで Active DAG-PKC-Ca²⁺ を生成する (⑤)。シグナル伝達が終了すると Active DAG-PKC-Ca²⁺ は分離する (⑥, ⑦)。PIP₂ は細胞膜内で MARCKS と結合する (⑧, ⑨)。Active DAG-PKC-Ca²⁺ が PIP₂-MARCKS のリン酸化を促進して細胞質に移行することで pMARCKS が生成される (⑩)。pMARCKS は脱リン酸化して MARCKS となり、のちに細胞膜へ移行する (⑪)。なお、Ca²⁺ は小胞体から放出・吸収されるものとする (⑫)。

本研究では細胞のモデリングとシミュレーションのためのオープンソースソフトウェアプラットフォームである Virtual Cell (VCell) を用いて細胞形状の 2 次元モデルを作成し、2 次元の生化学反応空間シミュレーションを実行した。VCell で解かれる基礎方程式は式 (1) である。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\text{div}(-D_i \nabla C_i - C_i V_i)_i + R_i \quad (1)$$

3. 実験結果

シミュレーション開始後、0~20s にかけて入力領域付近の Active DAG-PKC α -Ca²⁺濃度が上昇した。膜全体の PKC 濃度が上昇しており、これは一次反応と同様の傾向であった。また、シミュレーションから算出された濃度比の変化は PKC-far の輝度比の変化に類似した傾向を示していた。一方 MARCKS はシミュレーション開始後、0~20s にかけて入力領域付近の濃度減少が確認された。

4. 考察

本モデルは PKC の一次反応を理論的に再現したものであると考えられ、同モデルで MARCKS のシミュレーションを行うと、MARCKS が膜から核近傍へ移行するという結果が得られた。

5. 結言

機械的刺激を受けると、PKC は膜全体へ移行 (一次反応) した後、刺激を受けた側の膜へ集積する (二次反応)。MARCKS は膜から核近傍へ移行する。本研究にて機械的刺激を受けた直後の PKC, MARCKS の反応に関するシミュレーションを行ったところ、PKC は一次反応と同様の傾向を示し、MARCKS は損傷実験と同様の傾向を示す結果となった。以上のことから、PKC の一次反応が MARCKS の反応に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

謝辞

本研究はオートレースの補助を受けて実施しました。

要旨

6月4日（日）

講演会場 2（F302）

OS7 食品およびソフトマターの
レオロジー（3）

介護食品への応用を目指した、 複数食材の混合による 3D 食品の色・硬さ表現の検討

一森湧*, 渡邊洋輔*, 小川純*, MD Nahin Islam Shiblee*, 古川英光*

* 山形大学 理工学研究科 機械システム工学専攻

[〒992-0038 山形県米沢市城南4丁目3-16 11号館 401室]

1. 緒言

介護食は、嚥下を考慮してムース食が使用され、色や形が単調なものが多い。食事の見た目は食事の満足度に影響を及ぼすことが報告されており¹⁾、栄養を摂取するという食事の目的達成を補助するためにも食事の外観は大切である。我々は、一般食に近い外観で介護食を造形し食事の満足度を向上する調理手段として、食品 3D プリントに着目した。

本研究では、色や硬さの異なる複数の材料を任意の混合比で吐出可能なポンプを有する、食品 3D プリントを開発した。混合比によって見た目や硬さを調整しながら食品の 3D 造形を試みた。

2. 実験方法

開発した食品 3D プリントは、スクリー式の押出ポンプおよび材料を充填するタンクを複数取り付けることが可能で、最終的にそれぞれの食材が合流し、一つの口から吐出される構造である。3つのスクリーはモーターによって制御されており、モーターの回転の比によって、材料の混合比を調整可能である。

3D 造形には、硬さの異なる2種類の材料を使用した。精製水 100ml にまとめるこ easy (株式会社クリニコ) を 5g 添加した Sample1 と精製水 100ml にまとめるこ easy を 10g 添加した Sample2 を作成した。

吐出された食品の硬さは、山電のクリープメーター (RE2-33005C) によって測定した。

3. 実験結果・考察

作成した材料を「えん下食判定支援ツール」(株式会社山電) を用いて判定した結果、Sample1 はえん下困難者用食品の規格基準が「許可基準Ⅱ」、Sample2 は「許可基準Ⅲ」であることがわかった。

赤と黄の着色料製剤 (McCormick&Company, Inc.) を使用して着色した Sample1, 2 を装置に充填し、混合比を 9:1~1:9 の間で 5 段階に変化させて造形試験を行なった (図 1)。

次に、硬さの異なる材料を混ぜることで硬さの調整を行うことを目指した (図 2)。Sample1, 2 の混合比を変えることで硬さの調整できることがわかった。

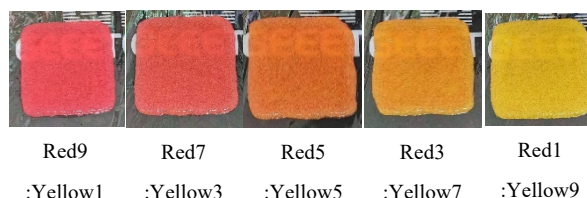


Fig.1 Color of printing at each mixing ratio

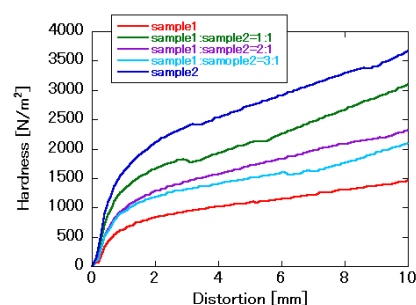


Fig.2 Hardness measurement results for each mixing ratio

4. 結言

多色造形が可能な食品 3D プリントは存在するが、各材料が別々の吐出口から吐出されるため、表現したい色の数だけ吐出口が必要だった。本装置は、吐出口一つで、徐々に混合比を調整し色の勾配を表現可能である。すなわち、より一般食に近い色を有した介護食を造形可能である。

さらに、硬さの異なる材料の混合によって 3D 食品の硬さを調整可能だった。複数の硬さの材料を準備してタンクに充填すれば、咀嚼能力に応じた硬さの食事の提供や、硬さの勾配を有する独特な食感の 3D 食品を提供できる可能性がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである。

文献

- 川上 結衣, 前田 千花, 池 寄 寛 人: 見た目を考慮したソフト食が食味に与える影響について, 保健科学研究誌, **13**, 117-125, 2022.

3D プリンタ製一軸偏心ねじポンプ(PCP)による食品の 3D 造形

小林竜也*, 渡邊洋輔*, 小川純*, MD Nahin Islam Shiblee*, 古川英光*

* 山形大学 理工学研究科 機械システム工学専攻

[〒992-0038 山形県米沢市城南 4-3-16 11 号館 401]

1. 緒言

近年、食のデジタル化や個別対応の観点から食品 3D プリンタが注目を集めている。食の好みに合わせて食品 3D プリンタの多様化が進んでおり、スクリーンやレーザー、シリンジといった様々な造形方式が提案されている⁽¹⁾。

我々は食品の吐出方式として、高粘度の吐出が可能で吐出量の制御が容易な一軸偏心ねじポンプ(PCP)に着目した。PCP はコストやカスタマイズ性を考慮し、3D プリンタで作製した。本研究では、3D プリンタ製 PCP による食品の 3D 造形を試みる。

2. 実験方法

にんじんファインパウダー(mikasa)と精製水を 1:2, 1:3 の比率で混合した 2 種類のインクと、市販のなめらか野菜にんじん(キューピー)を使用した。アントンパール社製レオメータ MCR302 を用いて、すべてのインクの粘度のひずみ速度依存性、貯蔵弾性率 G' と損失弾性率 G'' のひずみ依存性を観察した。

また、それぞれのインクは、PCP を有する 3D プリンタを用いて 10mm×10mm×2mm の直方体を造形し、造形可否を目視で観察した。

3. 実験結果

すべてのインクにおける粘度測定の結果と造形結果を図 1 に示す。PCP で 3 種類の材料を吐出することが可能であり、1:2 の溶液では 3 種類の造形物の中で造形ラインが明確で、直方体の造形物は設計通りの大きさであった。一方で、インクの水分含有量が多い 1:3 のインクやなめらか野菜に

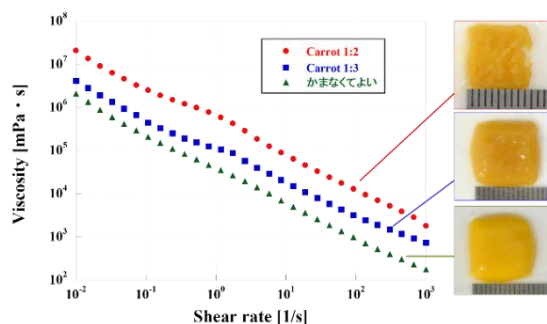


Fig 1 粘度測定及び造形結果

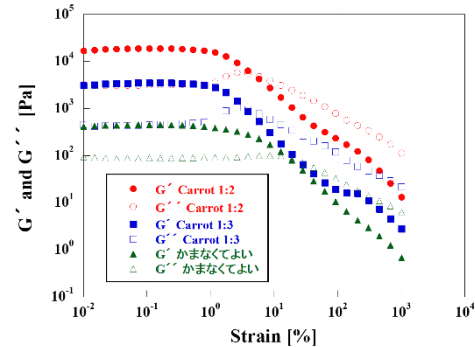


Fig 2 粘弾性測定結果

にんじん (82wt%が水分) は、粘度低下に伴って保形性が失われ、直方体の設計値よりも造形物が広がってしまった。造形物は粘度の影響を大きく受けることがわかった。

図 2 は各インクの貯蔵弾性率 G' と損失弾性率 G'' を示している。あるひずみの値から $G' < G''$ となり、PCP で吐出を行う際、シアシニングであることが望ましく、結果から各インクは適していることがわかった。

4. 結言

本研究では、PCP を 3D プリンタで造形し、その PCP を用いて、にんじんが含まれているインクの 3D 造形を試みた。吐出後の形状やインクの粘弾性から PCP に適している造形インクの組成がわかった。今後は、他の方式と比較したときの PCP の利点について整理し、PCP を用いた吐出に適している食品の探索を行う。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである。

文 献

- 1) 川上勝, 古川英光: 近年の食品 3D プリンタの発展, 日本画像学会誌, 58, 68, 2019.

レーザー式 3D フードプリンタに向けた食品インクの検討

渡邊洋輔*, 藤原広希*, 一森湧*, 鳥羽慶*, 貝沼友紀*, 小川純*, 古川英光*

* 山形大学大学院 理工学研究科 機械システム工学専攻

[〒992-0038 山形県米沢市城南 4-3-16 11 号館 401]

1. 緒言

3D フードプリンタは、将来的に味、形状、色、食感、栄養素等を制御して食品が造形可能になると予想されている⁽¹⁾。一方で、3D フードプリンタの多くは材料押出式 (MEX 法) を採用しており、多様な食品への対応については、造形方式の新規開発や複数の方式の統合が必要になる。

我々は、食品インク・粉末にレーザーを照射し、そのエネルギーを用いて食品の加熱、凝固などを起こすことで食品を 3D 造形するレーザー式 3D フードプリンタを開発した (図 1(a), (b))。本プリンタは、MEX 法と異なり食品のチクソ性を考慮せずに、中空構造を造形可能である。本研究では、本プリンタで造形可能な食品インクの特長について調査した。

2. 実験方法

波長 450nm, 最大 20W 程度の出力の光源をレーザー式 3D フードプリンタに採用した。3D 造形する際は PWM 制御によって出力を 10W 程度に固定し、その他の造形速度や造形ピッチといった条件は材料によって調整した。

食品インクは、加熱によって糊化する多糖類 (三和澱粉社製)、レーザー光を吸収し熱に変換する着色粉末 (グリーンエース社製)、熱を分散する水を混合して調整した。それぞれの混合比において造形を試み、造形の可否を目視で確認した。また、造形可能な食品インクの温度特性を、アントンパール社製レオメータ MCR302 を用いて測定した。

3. 実験結果

図 2 に造形可能であった各材料の組成を示す。固形成分が 24wt% (多糖類 4wt%, 着色粉末 20wt%), 水 76wt% という低濃度の領域でも糊化することがわかった。

図 2 で示した造形可能なインクの貯蔵弾性率と損失弾性率の温度特性を図 3 に示す。造形途中のサーモカメラによる観察により、レーザーの焦点位置はおよそ 80 度に昇温されている。一方で、40 度付近ですでに損失弾性率 $G'' < \text{貯蔵弾性率 } G'$ となっており、40 度付近で澱粉糊化反応が始まって

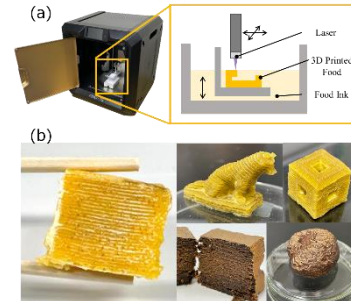


Fig 1 (a) レーザー式 3D フードプリンタ, (b) 造形物の例,

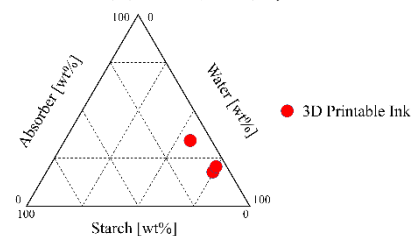


Fig 2 造形可能な食品インクの組成

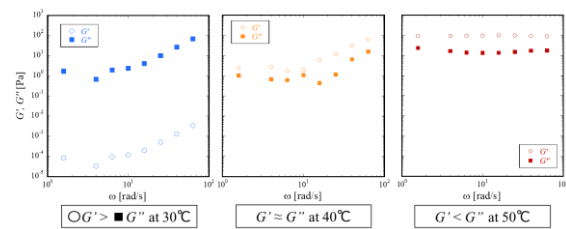


Fig 3 食品インクの温度特性

いることがわかった。

4. 結言

本研究では、レーザー式 3D フードプリンタを用いて、造形可能なインクの組成を確認した。また、レオメータを用いて造形可能なインクの糊化反応が始まる温度特性について確認した。今後は、3D 造形の可否を決定づける熱特性以外の物性を調査する。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである。

文献

- 1) S. Manthial, et al., Int J Gastron Food Sci., 22, 100260, 2020

介護食への適用を目指した食品 3D プリント用 造形インクの力学的評価と 3D 造形

藤原広希*, 渡邊洋輔*, 小川純*, 古川英光*

* 山形大学 理工学研究科 機械システム工学専攻

* [〒992-0038 山形県米沢市城南 4-3-16 11 号館 401 号室]

1. 緒言

現在, 世界では高齢化が進み, 咀嚼・嚥下機能障害を持つ人が増えている. 障害の程度には個人差があり, 病態に応じた個別化された介護食を提供するには沢山のコストや時間, 労力を要する. また, 障害が進んだ高齢者への介護食はペースト状であるため, 見た目が悪く食感が均一で食欲をそそらない. そのため見た目や食感の改善をし, 個別化された介護食を容易に提供する方法が必要となる.

2. 実験方法

2.1 食材インクの造形能調査

本研究では世紀株式会社製のスクリー式食品 3D プリンタ FP-2500, カボチャパウダー(MIKASA) 精製水を使用した. 野菜パウダーと精製水の比率は 2:4, 2:5, 2:6, 2:7 の 4 種類とした. 作成した試料を FP-2500 に充填させ, 造形した (表 1).

2.2 Texture Profile Analysis (TPA) の測定方法

測定機器は, CREEP METER RE2-33005 (山電製) を用いた. ユニバーサルデザインフードの市販品のなめらか野菜かぼちゃ (キューピー) と作製したカボチャインクを直径 40mm, 高さ 15mm の容器に充填し, 直径 20mm, 高さ 30mm 樹脂製プランジャーを用いて圧縮速度 10mm/sec, クリアランス 5mm で直線運動によって 2 回圧縮測定を行った. えん下困難者用食品の表示許可基準の判定は, 「えん下食判定支援ツール」 (山電製) を用いて行った.

3. 実験結果

作製した食材インクでの造形を行った (図 1). 水分含有量の減少とともに形状保持力が上がり, 輪郭が明確になった. ノズルからの吐出能力・造形後の形状保持力の観点から, カボチャパウダー:水の比率は 2:6 が造形に適していた.

えん下食判定支援ツールによるえん下困難者用食品の規格基準判定を 3 回の測定を平均化して行った (図 2). 造形能調査で適していた食材インクはえん下困難者用食品の許可基準 II, III を満たしていた. 以上のことから, カボチャパウダー:水の比率は 2:6 が介護食として造形に適していた.

Table 1 Experimental conditions for 3D modeling

Print speed [mm/min]	400
Nozzle diameter [mm]	2.00
Pitch [mm]	1.00



Fig 1 Pumpkin ink modeling results

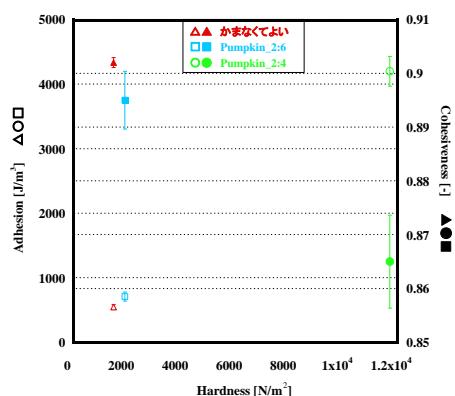


Fig 2 Determination of standard criteria for foods for persons with difficulty in eating

4. 結言

3D 造形における吐出能力や, 形状保持力の観点及びえん下困難者用食品の規格基準判定によって, 作製した食材インクが介護食材料として適しているかどうかを確認した. 食品 3D プリンタによる介護食を普及させるために, ①他の野菜パウダーの造形, TPA を行い, ②調味料のパウダーを添加し, 味評価・官能評価を行う.

謝 辞

本研究の一部は, JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである.

文 献

- 1) ユニバーサルデザインフードの力学特性 大妻女子大学家政系研究記要 第 55 号 (2019. 3)

フード3Dプリンタによる食感創成と専用フードインクの設計

古屋 佳叡, 島田 勇輝, 武政 誠

東京電機大学 大学院生命理工学専攻 [〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂]

1. 緒言 3Dプリンタは材料の立体配置を、ゼロから積み上げて行うAM方式(Additive manufacturing)により、試作期間の短縮等モノづくりに革命をもたらしている。IT技術等、近年発展著しい工学技術を食品業界に導入するフードテックが注目を集めており、フード3Dプリンタにより、特に食感の面でさらなる制御が可能になる、と期待されている。食品では、長らく、天然物をそのまま利用してきたが、材料の空間配置を設計通りに実施可能な3Dプリンタにより、食感をCADで設計し、天然には存在しない食感を創造するポテンシャルを持つ、と期待できる。

食品内部の構造を造りこむことにより、食感を制御可能であることを、我々は示してきたが、各種原理によるフード3Dプリンタ開発、また食感創成に必要な、専用フードインク開発を、特にレオロジーの観点から紹介する。

2. 実験方法 ペースト状のフードインクを、注射器等にセットし、ピストンで、もしくはスクリュウ移送を利用して、注細径ノズルから食品材料を押し出すことで、平面形状を設計通りにパターンニングする装置を開発した(シリンジポンプ、およびスクリュウポンプ式3Dプリンタ)。これを積層することで、立体形状を可食素材で行うことにより、食品をプリント可能となった。

パターンニングの方法としては、インクジェット方式、またレーザーを利用して局所加熱を利用することでも、実施可能であり、それぞれの特徴を活かして、プリント可能な食品素材、食感領域、空間分解能や速度、の観点から最適化することが可能であった。

3. 実験結果および考察 ペースト状食材を1種類、もしくは2種類、シリンジ、またはスクリュウポンプにより造形するために必要な各種条件を検討した。多層構造や支柱構造などを造形したところ、食材のレオロジー特性と使用量の比率だけでなく、空間配置に起因する「構造食感」による食感設計及びプリントが可能であると確認された。

この方法では、細径ノズルから吐出可能なレオロジー特性に制約が強く、プリント可能な食感の範囲が限定された。空間分解能を向上させるため、またプリント速度を上げるためには、低粘度イン

クが求められるが、プリント後に設計どおりの形状を維持するためには、短時間では高粘度、長時間では高弾性及び高剛性率が求められ、矛盾した物性を瞬時に制御することが求められる。

この問題を解決するために、ニードルから吐出された後にゲル化させる方法を複数検討した。食品中における高分子間の架橋を模倣し、複数の結合様式、水素結合、疎水性相互作用、S-S結合、トランスグルタミナーゼによる共有結合、等を組み合わせることで、ステーキ肉並みの「歯ごたえ」を有する食感の食品をもプリント可能にした。

繊維状の、一軸配向した構造の創りこみをサブミリメートルスケールで、レーザー造形を行うことにより、肉様の食感を創りこむことを可能にした。具体的には、配向した構造と平行方向に、くさび形プランジャーにより圧縮した際の最大荷重は、配向方向と垂直にプランジャーをあてた際の最大荷重を大きく下回り、構造異方性を再現することに成功している。また、最大荷重の絶対値についても、ステーキ肉と同等以上の値を、レーザーフード3Dプリンタによっても達成した。

従来のフード3Dプリントにおいては、細径から高濃度高分子水溶液を、短時間で輸送するという強い制約が存在した。そのため、歯ごたえのない、介護食程度のテクスチャーしかプリントできないという問題があり、広く普及させるためには致命的であった。この制約は、レオロジー特性を、状況に応じて制御可能な範囲が制約されることに起因していた。本研究では、複数の架橋方式を併用することや、立体造形の基盤となる、レオロジー特性制御を局所的に行う複数の方式を併用することにより、日常的に使用される食品の大半のテクスチャーに関して、プリントが可能となることが示唆された。

4. 結言 これにより、構造に起因する食感(構造食感)により、食感をゼロから制御できる範囲を拡大させることで、実用化への道を拓いた。

謝辞

本研究の一部はJKA(2020-2021)、旗影会(2022)の助成を受けて実施しました。

要旨

6月4日（日）

講演会場 1（F301）

OS7 食品およびソフトマターの
レオロジー（4）

流動下の粘弾性測定による生クリームのせん断硬化の観測

菜嶋健司

(株) 大菜技研 [〒305-0047 つくば市千現 2-1-6]

1. 緒言

通常の動的粘弾性測定は、試料の流動は想定されていない。しかし、食品を始め殆どの物質は流動状態を経験する。動的粘弾性がどのように流動の影響を受けるのかを調べることで、新たに重要な物性的、科学的知見が得られると考えられる。今回は、生クリームがホイップによって固まる状況を模して、せん断流動を印加して硬化する様子を流動下の粘弾性測定により追跡した。

生クリームは濃厚なエマルションであり、流動によって脂肪球が相互に接触し合う状況を想定できる。この状態が経時的に変化し、脂肪球の合一や凝集が起こったとき測定値がどのように変化するかを見るのが今回の目的である。測定量は、粘度 (η)、貯蔵・損失弾性率 (G', G'') のせん断速度依存性に加え、粘度と貯蔵・損失弾性率から算出される複素粘度の比 (De) である。

2. 実験方法

硬化によって測定量に変化する過程を追うのであるが、実験時間の制約から、せん断速度及び測定周波数を絞り込み、さらに、数点の定常せん断による測定（最大のせん断流動を規定する）を行う手順とし、この手順の繰り返しで測定を行った。

試料は、市販の生クリーム（FC47 と表記）を使用した。温度、最大せん断速度の硬化条件は試行錯誤により選択した。市販のコーヒー用クリーム（KT）を比較対象とした。

3. 実験結果

今回の報告では、測定周波数は 20 rad/s のみとする。まず、硬化しない KT と FC47 の初期状態の貯蔵・損失弾性率を Table 1 で比較する。両者に大きな違いは見られず、共に弱いせん断 (0.4s^{-1}) 付加で、若干の値の上昇、即ち、流動硬化現象が発生している。明確な違いは、中程度のせん断 (6.6s^{-1}) 付加で FC47 は G'' が上昇を継続していることである。

次に、FC47 を上記手順で硬化する様子を調べた結果を Fig.1 に示す。弱せん断では、 G', G'' 共、緩やかな上昇の後、4 時間経過付近から急な上昇挙動に変化している。中せん断では、 G'' が 2 時間付近から急な上昇に変化するのに対して、 G' はその時点で挙動の変化はなく、4 時間経過後に急激に値が低下し、グラフに表示できない負の値へと変

化する結果となった。流動下の粘弾性では、 G' が負になることは許容される現象のようである。

De については、初期はやや低下傾向であるが、弱せん断では、4 時間程度で大きく変化し、中せん断では 2 時間程度以降より強い低下傾向となり、 G' と異なるせん断流動速度依存性を見せている。

なお、粘度については G'' とほぼ同様の変化を示し、せん断を加えない G', G'' についてはこの測定時間内の変化は小さいという結果を得ている。

Table 1. Comparisons of G', G'' with KT in the initial state.

s. rate	KT		FC47 (10°C)	
	G'	G''	G'	G''
0	0.375	1.395	0.445	0.950
0.4	0.490	1.445	0.552	1.410
6.6	0.159	1.121	0.224	1.506

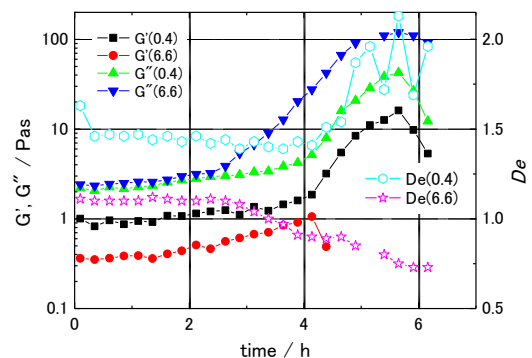


Fig.1 G', G'' and De variation of the FC47 sample under the set of programmed condition. ($\omega=20$ rad/s, strain=0.03, max. shear rate = 150 s^{-1} , 5°C ; the values in the parenthesis on the figure are the superposed shear rates.)

4. 結言

本報で示した硬化過程は、それぞれの測定条件によってもたらされる変化ではなく、せん断刺激による状態変化を各測定条件で観測したものであることに注意が必要である。すると、与えるせん断条件や G', G'' と言った測定量によって、試料の状態の見え方が違うことが明瞭になる。この中から目的に適った条件を見出すことや、これらの差異を解明する方面への発展が期待される。

こんにゃくを用いた低カロリー肉様食品素材の開発

山田徹郎*, 仁志直史**, 木元昭信**

* 群馬産業技術センター [〒379-2147 群馬県前橋市亀里町 884-1]

** 高崎健康福祉大学 農学研究科 [〒370-0033 群馬県高崎市中大類町 54]

**株式会社 エヌ・シー・コーポレーション [〒105-0013 東京都港区浜松町 1-12-14 東京営業所]

1. 緒言

カロリーオフを目的とした肉様素材の開発のために、筆者らは、製粉濃度を3%（市販されている商品と同等）から8%に増加させ、その物性を測定したところ、破断強度を約7倍にすることができた¹⁾。しかし、この強度の増加は、肉らしさにつながらなかった。肉の食感は、初期は変形しやすく（柔らかい）、噛み続けるときは抵抗があり、噛み切る際に一定以上の抵抗（噛みごたえ）が必要である。このような肉の構造モデルを考察し、硬い部分と柔らかい部分からなる不均一な試料を試作した。また、これらの食感、硬さを評価した。

2. 実験方法

試料は、蒸留水 900mL に精粉を 25 g と表 1 に示した通り粒子径ごとに分級された株式会社エヌ・シー・コーポレーション製の貝殻焼成カルシウムを用いた。レトルト袋に移し替え、密閉熱加工を行った。また、一部の試料では、密閉熱加工後にボイル加工を行った。試料の外観を観察し、食感を評価した。

Table 1 Particle size and processing conditions.

サンプル名	凝固剤の粒子径	処理	
		密閉熱加工	ボイル加工
サンプルA	4.7メッシュバス、12メッシュオン	あり	なし
サンプルB	12メッシュバス、18メッシュオン	あり	なし
サンプルC	18メッシュバス、30メッシュオン	あり	なし
サンプルD	4.7メッシュバス、12メッシュオン	あり	あり
サンプルE	50メッシュバス	あり	なし
サンプルF	100メッシュバス	あり	なし

硬さは、貫入抵抗で評価した。株式会社 IMADA 製デジタルフォースゲージ ZTA-20N を用いた。

貫入抵抗の測定条件は、プランジャー:直径 2mm, 測定速度:100mm/sec とし、荷重の最大値を測定値とした。

3. 実験結果

試料の外観を観察した。実際に食し、その食感を評価した。サンプル A, B, C 及び D は、いずれも硬さが不均一であり、硬い部分と柔らかい部分があり、肉様食感であった。特にボイル加工したサンプル D は、肉様に極めて近い食感であった。

サンプル E 及び F はいずれも硬さが均一であり、肉様食感は感じず、こんにゃくそのものの食感であった。図 1 にサンプル A (左) とサンプル D (右) を示す。



Fig. 1 Photograph of samples.

また、表 2 に貫入抵抗の結果を示す。ボイル加工により、凝固していない部分が凝固した。この様に、サンプル D は、凝固した硬い部分と柔らかい部分を持つ構造となった。

Table 2 Results of puncture test.

サンプル名	測定箇所	平均値	貫入抵抗 (N)				
			# 0 1	# 0 2	# 0 3	# 0 4	# 0 5
サンプルA	硬い部分	0.63	0.76	0.71	0.72	0.42	0.54
	凝固していない柔らかい部分*)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
サンプルB	硬い部分	0.76	0.67	0.56	0.71	1.12	0.75
	凝固していない柔らかい部分*)	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
サンプルC	硬い部分	0.90	0.90	0.48	0.86	1.17	1.07
	凝固していない柔らかい部分*)	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
サンプルD	硬い部分	0.55	0.48	0.47	0.47	0.84	0.48
	凝固している柔らかい部分	0.26	0.29	0.44	0.13	0.24	0.21
サンプルE	硬い部分	0.71	0.56	0.77	0.65	1.04	0.53
サンプルF	硬い部分	1.00	1.12	0.96	1.13	0.86	0.92

*) 貫入抵抗なしのため参考値

4. 考察

肉様素材の開発では、サンプル D に近いものが望ましい。その条件は、①不均一な構造を持つこと。②凝固していない部分がないと考えられる。

5. 結言

肉の構造モデルを検討し、凝固剤で制御することで、不均一な構造を持つ試料を作製したところ、肉様食感を得た。これは低カロリー肉様素材として開発ができると思われる。

なお、この研究内容で特許出願を行った。

文 献

- 1) 山田 徹郎ら：こんにゃくの食感に関する調査研究，群馬県立産業技術センター研究報告，2019，pp. 27-31.

キャノーラ油が蒸しパンの食べやすさに及ぼす影響

鈴木璃恩*, 吉村美紀**, 石田真結加*, 江口智美*

*静岡県立大学 栄養生命科学科 [〒422-8526 静岡県静岡市駿河区谷田 52-1]

**兵庫県立大学 環境人間学部 [〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12]

1. 緒言

蒸しパンは、水溶性高分子である澱粉質を主とし、スポンジ構造を持つパン状食品のひとつである。パン状食品は、口腔内で咀嚼されて唾液と混合されると付着性が増して詰まり、窒息の原因となりやすい¹⁾。現在の日本では、欧米型の食生活に慣れ親しんだ世代が高齢期を迎えており、咀嚼・嚥下機能が低下した方でも安全に摂取できる食べやすいパン状食品の需要増加が見込まれる²⁾。

油脂は、エネルギー源として、また必須脂肪酸の供給源として重要な食品である。調理においては、疎水性を示すため、水や水溶性高分子との付着性防止効果を示す。日本では、菜種を原料とするキャノーラ油が最も多く消費されており、このキャノーラ油は無味無臭で固まりにくい。

そこで本研究では、キャノーラ油を蒸しパンに添加することで、付着性を抑制し、咀嚼・嚥下しやすい物性にできるのではないかと考え、キャノーラ油を添加した蒸しパンの食べやすさについて検討を行った。

2. 実験方法

静岡県立大学研究倫理審査委員会承認後に学長許可を得て実施した(受付番号4-28)。

蒸しパンの材料は、薄力小麦粉(株ニップン製)、ベーキングパウダー(株アイコク製)、キャノーラ油(日清オイリオグループ(株)製)、上白糖(フジ日本精糖(株)製)、蒸留水とした。小麦粉重量に対して0、10、20、30、40%のキャノーラ油を添加し、30分間蒸し加熱後、室温で2時間放冷したものを蒸しパンとした。

蒸しパンの比容積の測定、テクスチャー測定(株山電製、RE2-33005s、20×20×20 mm、 $\phi=30$ mm 円筒型、1.0 mm/s、圧縮歪 0.6、 $n \geq 14 \times 3$)、水分量の測定(株エー・アンド・デイ製、MX-50、MIDモード、5.00 g、135°C)および官能評価($n=35$ 、21.8 ± 1.7 歳、五段階評点法)を行った。また、模擬唾液(0.05%キサンタンガム水溶液)を添加して水分量65%に調製した模擬食塊のテクスチャー測定(株山電製、RE2-33005s、 $\phi 40$ mm×h15 mm、 $\phi=20$ mm 円筒型、1.0 mm/s、圧縮歪 0.667、 $n \geq 8$)を行った。

3. 実験結果

比容積はキャノーラ油10%添加が0%および40%添加よりも有意に高値を示した。蒸しパンのテクスチャー測定より、キャノーラ油の添加量が増えるほど、かたさと凝集性が有意に低下した。水分量は、キャノーラ油の添加量が増えるほど有意に減少した。模擬食塊のテクスチャー測定より、キャノーラ油の添加量が増えるほど、かたさと付着性が有意に低下した。官能評価より、キャノーラ油添加蒸しパンは、0%よりもやわらかく、なめらかで、しっとり感があり、おいしいと評価された。20%添加ではべたつきが感じられないが、40%まで添加すると0%および20%添加より有意にべたつきを感じると評価された。また、キャノーラ油の添加量が増えるほど飲み込みやすいと評価された。

4. 考察

比容積の結果より、キャノーラ油10%添加では0%よりもよく膨化したが、添加量が20%を超えると、油脂がグルテン形成を阻害し膨化しにくくなる可能性が推察された。蒸しパンのテクスチャー測定の結果から、キャノーラ油を添加することで、やわらかくまとまりにくい、弾力性が小さく噛みやすい蒸しパンになることが推察された。また模擬食塊のテクスチャー測定の結果より、キャノーラ油を添加すると、やわらかく付着性の少ないサンプルとなり、添加量が多いほどその特徴が顕著であることが推察された。また、これらの物性測定の結果は官能評価の結果と一致した。

5. 結言

キャノーラ油を添加することで、咀嚼・嚥下しやすくおいしい蒸しパンを調製できる可能性が示され、添加量も食べやすさに影響を与えることが示唆された。

謝 辞

三栄源エフ・エフ・アイ(株)よりキサンタンガムをご提供いただきました。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 向井美恵: 食品による窒息の要因分析—ヒト側の要因と食品のリスク度—, 平成20年度厚生労働科学特別研究事業研究報告書, 1-67, 2009.
- 2) 杉浦文香, 伊藤聖子, 新井映子: グルテン構成タンパク質組成がパンの咀嚼・嚥下特性に与える影響, 日調科誌, 47, 305-311, 2014.

液体油と乳化がクッキーの食べやすさに及ぼす影響

江口智美*, 石田真結加*, 鈴木璃恩*, 吉村美紀**

*静岡県立大学 栄養生命科学科 [〒422-8526 静岡県静岡市駿河区谷田 52-1]

**兵庫県立大学 環境人間学部 [〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12]

1. 緒言

咀嚼・嚥下機能の低い高齢者や乳幼児において、安全で栄養があり、おいしい食品が求められている。クッキーは高齢者や乳幼児においても高い頻度で食べられている嗜好品であり、高齢者はクッキーに歯付きの少なさと口どけの良さを求めている¹⁾。クッキーの物性には、油脂のショートニング性が関与する。通常、クッキーには固体脂であるバターが用いられているが、現在、健康面への配慮から液体油を使用したものが多く見られている。これまで、油脂の種類や添加量等を変えたクッキーについて様々な研究が行われており、液体油を用いることや、液体油を乳化させることによって、やわらかくもろい物性になることが報告されている。したがって、液体油を用いて乳化させることで咀嚼・嚥下機能の低い方でも咀嚼が容易で食べやすい物性になると考えたが、実際に食べやすさとの関連について検討した研究はほとんどない。そこで本研究では、液体油を用いて乳化させたクッキーの食べやすさについて検討を行った。

2. 実験方法

静岡県立大学研究倫理審査委員会承認後に学長許可を得て実施した (受付番号4-29)。

クッキーの材料は、薄力粉 (㈱ニッポン)、コーンスターチ (㈱静岡やまき屋)、上白糖 (フジ日本精糖㈱)、卵黄 (市販品、乳化剤として使用)、蒸留水、油脂とした。油脂には、バター (無塩バター、雪印メグミルク㈱) および液体油 (MCT オイル (㈱プレミアムマーケティング)、米油 (日清オリオ㈱)、オリーブオイル (㈱J-オイルミルズ)、太白胡麻油 (竹本油脂㈱)) の5種類を用い、液体油については乳化の有無で分けて比較を行った。水分量を統一したドウ (6 mm 厚×φ32 mm) を焼成後、室温で30分間放冷し、真空包装して18時間保存したものをクッキーとした。

ドウの質量、クッキーの質量・体積 (菜種法)・形状、水分量 (㈱エー・アンド・デイ、MX-50、MIDモード、5.0 g、140°C)、油じみ、破断特性 (㈱山電、RE2-33005s、φ=40 mm 円筒型、1.0 mm/s、圧縮歪0.7、n≥17×3) を測定し、官能評価 (n=21、

21.7±1.5歳、五段階評点法)、走査型電子顕微鏡 (SEM、㈱日立製作所、TM3030、加速電圧15 kV、120倍) による表面構造観察を行った。また、模擬唾液 (0.05%キサントガム水溶液) を添加し水分量45%に調製した模擬食塊のテクスチャー測定 (㈱山電製、RE2-33005s、φ40 mm×h15 mm、φ=20 mm 円筒型、1.0 mm/s、圧縮歪0.8、n≥8) を行った。

3. 実験結果

クッキーの厚さおよび直径は、バターで大きく、MCT オイルで小さい値を示した。油じみは、バターと比較して液体油で多いが、乳化により減少する傾向が見られた。破断測定と官能評価より、クッキーの硬さは、バターやオリーブオイルでやわらかく、噛みやすい物性を示した。もろさは、破断測定ではMCT オイルで最ももろい結果となったが、官能評価では比較的砕けにくい結果となり、物性測定との対応が見られなかった。また官能評価より、液体油では乳化することでわずかに食べやすさが向上した。SEMでは、バターで塊状の油脂が見られ、液体油では乳化することで油脂が均一に分散しているように見えた。模擬食塊の物性は、バターと比較して液体油で硬さ、付着性ともに小さく、乳化することでさらに低値を示した。

4. 考察

油脂の種類については、オリーブオイルにおいて、バターと同程度にやわらかくもろい物性になり、バターと比較して飲み込みやすい物性となった。さらに、乳化することで食べやすさと飲み込みやすさが向上した。

5. 結言

オリーブオイルを乳化させたクッキーが、最も食べやすく好ましい物性であることが示唆された。

謝 辞

三栄源エフ・エフ・アイ㈱よりキサントガムをご提供いただきました。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 宅見央子, 中村弘康, 白石浩荘, 米谷俊: 高齢者用菓子類の食感に求められる要素, 栄養学雑誌, 68, 131-140, 2010.

要旨

6月4日（日）

講演会場 2（F302）

OS7 食品およびソフトマターの
レオロジー（5）

水産練り製品の咀嚼によるレオロジー変化と咀嚼・嚥下性を表す品質指標の策定

山川 萌*, 市川 寿**

*長崎大学水産学部水産学科,

**長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 [〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14]

1. 緒言

我が国で市販されている一般的ななかまぼこ類は多様で、物性は様々である¹⁾。これらと介護食区分表示のある水産練り製品について、製品と咀嚼後食塊の TPA 試験分析及び嚥下音の音響解析を行ない、新たな食品品質表示としての“咀嚼・嚥下性を表す指標”を導入する為の手法を見出す事を目的とした。

2. 実験方法

市販のかまぼこ 8 品(板付けかまぼこ 2, 揚げかまぼこ 3, 茹でかまぼこ 1, 伊達巻 1, 豆腐かまぼこ 1), 介護食用練り製品 2 品 (UDF 区分 2) を試料とし、咀嚼前後の硬さ及び凝集性の変化を既報²⁾の方法により求めた。さらに、21~89 歳の健常な被験者 7 名が試料 5 g (89 歳被験者のみ 2 g) を座位で自由に咀嚼嚥下した時の嚥下音パラメータ³⁾ (嚥下音持続時間, 咽頭通過時間, ボラスフロー; 以下 t_2) を測定し、幕田ら³⁾の嚥下し易さの指標を求めた。これらの結果と既報²⁾の結果から水産練り製品の食塊嚥下域の物性を考察し、嚥下音パラメータとの関係性を整理した。

3. 実験結果と考察

咀嚼による今回の試料群の物性変化を Fig. 1 に示した。板付けかまぼこ (▲; 製品, ▲; 食塊), 揚げかまぼこ (●, ●), 蒸しかまぼこ (X, X), 伊達巻 (◆, ◆), 豆腐かまぼこ (+, +), UDF 区分 2 介護食 (■, ■) となり、既報²⁾ (茶色; 製品, 橙色; 食塊) の試料群の結果も挿入した結果、収集品の硬さと凝集性は両群で異なっていたものの、咀嚼終了後食塊の物性の様相はほぼ一致し、硬さが $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下で凝集性 0.6 程度となると嚥下される事が認められた。また、嚥下音解析から求めた t_2 /咽頭通過時間の値は、どの被験者においても凝集性より硬さとの相関が高い傾向がある事、及び、Fig. 2 (シンボルは Fig. 1 と同じ。製品毎に着色) に示したように高齢者においては UDF 区分表示品でも同値が高まる事が窺われた。

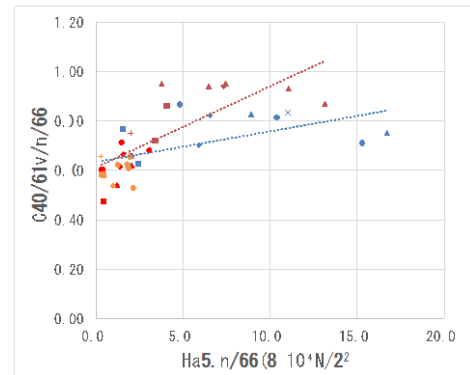


Fig. 1

Swallowing threshold of fish paste products

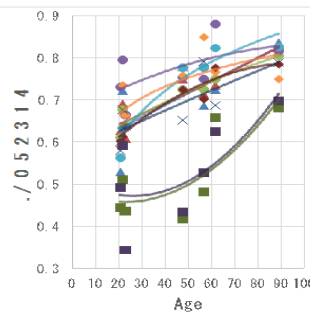


Fig.2 Human age- dependent changing of bolus flow on fish paste swallowing

4. 結言

誤嚥防止等安全性に関わる咀嚼・嚥下性を表す為の製品側の品質指標は、咀嚼と嚥下それぞれについて示す事が重要と思われ、まず、咀嚼性としては市販品の硬さと凝集性の値がそれぞれ $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 0.6 を基準としてどれだけ離れているかをグレード付けした上で、高齢者向けには喉頭蓋閉鎖中のボラスフロータイムが伸びる変化が生じる事を考慮した嚥下性ガイド値を併記する事が求められる。

文 献

- 1) Qian, J. and Ichikawa, H.: Rheological properties of fish paste products sold on the market in Japan, *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 94, 17-22, 2014.
- 2) 河野優夏, 山川 萌, 市川 寿: 水産練り製品の咀嚼によるレオロジー変化と嚥下性, *B&R (電子版)*, 35(2), 2021.
- 3) 幕田充志, 河野康成, 小井土 隆, 市川 寿: 魚肉練り製品食塊の性状と嚥下音に見られる特徴, *B&R (電子版)*, 30(2), 2016.

ザンサン水溶液を潤滑液とするハイドロゲルの滑り摩擦

楨靖幸*, 八島慎太郎*, 姫野凌哉*, 安中雅彦*

*九州大学 大学院理学研究院 化学部門[〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744]

1. 緒言

近年、摂食嚥下過程での食品の口腔内処理において、滑り摩擦の果たす役割が注目されており、食品多糖類などを潤滑液とする摩擦測定と食感評価との関連についての研究が行われている¹。これらの研究の多くは、口腔内環境をある程度再現するため、摩擦表面としてシリコンゴムなどの柔らかい材質を用いることを特徴としている（ソフトトライボロジー¹）。ハイドロゲルは、高い含水率や柔軟性、低摩擦性が生体組織に類似するため、生体のモデル物質として研究対象となっている。高分子水溶液中におけるハイドロゲルの滑り摩擦の研究の報告はいくつかあるが^{2,3}、食品多糖類の水溶液を潤滑液としたハイドロゲルの滑り摩擦の研究はほとんどない。本研究では、食品多糖類の1つであるザンサン（キサントガム）を潤滑液として用い、ポリビニルアルコール（PVA）ゲル/ガラス間の滑り摩擦特性を調べた。

2. 実験方法

ザンサンはCP Kelco Inc. より提供されたものをそのまま用いた。PVA 溶液（10wt%、重量比 3:1 の DMSO:水混合溶媒）を板ガラスとシリコンスパーサーからなる鋳型に注入し、-40℃で 12 時間冷却することで PVA ゲルを作製した。25℃の室温でイオン交換水に浸漬することでゲルの溶媒を水に置換した。ゲルのヤング率は 100kPa、含水率は 87%だった。回転型レオメータを用いてザンサン水溶液のずり粘度、およびザンサン水溶液中におけるゲル/ガラス間の滑り摩擦を測定した。

3. 結果と考察

Fig. 1(a)はザンサン水溶液の粘度のずり速度依存性、Fig. 1(b)はザンサン水溶液中の PVA ゲルの摩擦力の滑り速度依存性である。高速領域では摩擦力がほぼ速度の 1 乗に比例する、流体潤滑的な挙動が観察された。この領域では、ザンサン濃度が 0.05%以上において摩擦力はザンサン濃度あまり依存しなかった。また、低速領域では、基板に吸着した、ゲル表面の高分子の弾性力が摩擦力の起源であると考えられる^{2,3}。この領域では、ザンサン濃度が 0.2%以下では摩擦力が濃度とともに減

少し、0.2%以上では濃度とともに増加した。その原因については現在検討中である。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 22K14170 の助成を受けて実施された。

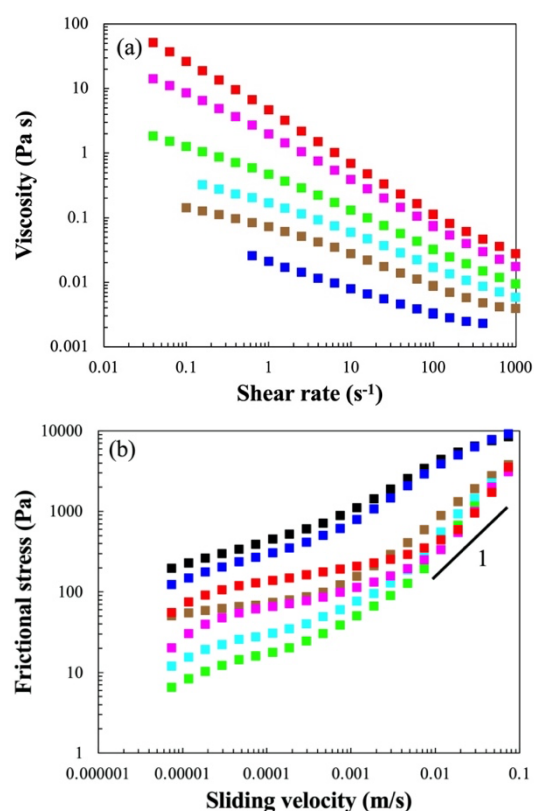


Fig. 1 Viscosity of xanthan solutions (a) and frictional stress of the PVA gel in xanthan solutions (b). The concentration of xanthan is: 0% (■), 0.01% (■), 0.05% (■), 0.1% (■), 0.2% (■), 0.5% (■), 1% (■).

文 献

- 1) Pradal, C. and Stokes, J. R.: Oral tribology: bridging the gap between physical measurements and sensory experience. *Curr. Opin. Food Sci.*, **9**, 34-41, 2016.
- 2) Nakano, Y., Kurokawa, T., Du, M., Liu, J., Tominaga, T., Osada, Y. and Gong, J. P.: Effect of hyaluronan solution on dynamic friction of PVA gel sliding on weakly adhesive glass substrate. *Macromolecules*, **44**, 8908-8915, 2011.
- 3) Du, M., Maki, Y., Tominaga, T., Furukawa, H., Gong, J. P., Osada Y. and Zheng, Q.: Friction of soft gel in dilute polymer solution. *Macromolecules*, **40**, 4313-4321, 2007.

気泡混合ゲルの嚥下時筋活動と力学的特性

高橋 智子
元神奈川工科大学

1. 緒言

ゲルに気泡を分散させることで食感が変化するという多くの報告がある。このことより、ゲル状食品に気泡を分散させることが、嚥下時筋活動に影響すると考えられる。本研究では、嚥下機能が低下した人が、安全に喫食できる、気泡を混合させたゲルの嚥下食への応用を試みた。気泡混合ゲルの力学的特性、ことに嚥下時筋電位の測定の追加実験を行い、新たに得られた結果を発表する。

2. 実験方法

ゲル化剤として、ネイティブ型ジェランガム(伊那食品工業株式会社)を用いた。ジェランガム溶解濃度が0.4、0.5、0.6(w/w)の基本ゲルを調製した。各々の濃度の基本ゲルに、亜酸化窒素ガス(食添用)を封入し、気泡混合ゲルを調製した。各濃度の基本ゲル、および気泡混合ゲルの密度、密度の測定結果より気泡含有率、光学顕微鏡による気泡の分散状態、ひずみと応力の関係(圧縮率90.0%、圧縮速度1mm/sec)、テクスチャー特性の測定を行った。嚥下時筋電位は、基本ジェランガムゲル、および気泡混合ジェランガムゲルの6種類について測定した。被験者は口腔機能の正常な21~22歳の男女のべ35名である。品温10±2℃で、直径30mm、高さ15mm、容量10.6mlの円柱状の試料を一口量とした。口中で自由に口蓋と舌で食塊形成を行った後、嚥下してもらった。嚥下時筋電位測定項目は筋活動時間、最大振幅、筋活動量である。

本研究は神奈川工科大学人倫理審査委員会の許可を得て施行された。

3. 実験結果

いずれの濃度の試料においても、気泡混合ゲル試料の密度は基本ゲル試料に比べ、有意に小さいことが認められた。基本ゲル、および気泡混合ゲルの密度は、いずれもネイティブジェランガム添加濃度の影響は認められず、気泡混合ゲルの気泡含有率は30~40%を示した。基本ゲル試料と気泡混合ゲル試料のひずみ-応力曲線より、いずれの添加濃度においても、基本ゲルは明確な破断点を示す脆性的な破断特性を示した。一方、気泡混合ゲルでは、いずれの添加濃度のひずみ-応力曲線にも、明確な破断点は認められず、基本ゲルに比べ延性的な破断特性を示した。また、測定ひずみ領域において、基本ゲルの応力は、気泡混合ゲルの応力に比べ、大きいことが示された。テクスチャー特性の測定結果より、いずれの添加濃度においても、破断特性で延性破断を示した気泡混合ゲルの凝集性は、基本ゲルに比べ、大きい傾向を示した。嚥下時筋電位測定結果より、いずれのネイティブジェランガム添加濃度においても、嚥下時筋活動時間は気泡混合ゲルが基本ゲルに比べ、短い傾向を示した。筋活動量も筋活動時間と同様に、いずれの添加濃度においても、気泡混合ゲルが基本ゲルに比べ、小さくなる傾向を示した。テクスチャー特性の凝集性と嚥下時筋電位測定の間に関係を調べたところ、凝集性と嚥下時筋活動時間との間に負の相関関係が認められた。

4. 考察

以上の結果より、気泡を混合することでジェランガムゲルは延性的破断を示し、そのことで、構造の復元性を示すテクスチャー特性の凝集性は大きくなる。凝集性が大きくなることで、ヒトの嚥下時筋活動時間は短くなることが示唆された。

高温高圧処理による改質キサンタンガムの曳糸性

柴田章吾*, 池上聡*, 前田和寛*, 中馬誠*, 船見孝博*

* 三栄源エフ・エフ・アイ株式会社 [〒568-8588 大阪府豊中市三和町 1-1-11]

1. 緒言

キサンタンガム (XG) は高粘性、高シエアシニング性を持つ水溶性増粘多糖類である。耐熱性を有し幅広い pH でも増粘可能であることから、食品業界では広く活用されている。一方で、XG は糸曳きが強いう特徴もあり、タレなどの一部の食品においては好ましくないテクスチャーが付与されてしまう場合がある。そこで、課題解決のため低分子化による曳糸性の低下に着目した。XG は高温高圧下において低分子化することが報告されており、本研究における XG の低分子化の方法として参考とした。

本研究では、高温高圧処理により低分子化した XG (改質 XG) の伸長レオロジーを評価し、XG 低分子化の曳糸性への影響を調べることを目的とした。

2. 実験方法

1.5% XG 水溶液をオートクレーブによって 135°C で 90 分および 120 分間加熱処理を行い、常温まで冷却後、イソプロパノールで沈殿させることにより改質 XG を得た。分子量は SEC-MALS (Shodex) を用いて測定した。50 s⁻¹ の定常ずり粘度が 100 mPa·s または 400 mPa·s になるように水溶液を調製し、曳糸性の評価を行った。Capillary Breakup 方式の伸長ひずみ型レオメータ (CaBER1, Thermo Scientific) を用い、直径 4 mm の円盤プランジャーを用いて 1 mm のギャップに試料をセットし、最終ギャップ 4 mm まで 80 mm/s の伸張速度で引き上げた時のフィラメント破断時間 (T_b) を曳糸性の指標とした。

3. 実験結果

未処理 XG, 90 分処理 XG, 120 分処理 XG の重量平均分子量は、それぞれ約 280 万, 約 160 万, 約 120 万であった。50 s⁻¹ のずり粘度を 100 mPa·s に揃えた未処理 XG, 90 分処理 XG, 120 分処理 XG の濃度はそれぞれ 0.7%, 1.3%, 1.6% であり、400 mPa·s に揃えた濃度はそれぞれ 2.25%, 2.9%, 3.7% であった。一例として、100 mPa·s の系における T_b を図 1 に示す。90 分および 120 分処理 XG は未処理 XG に比べて顕著に T_b が低下した。

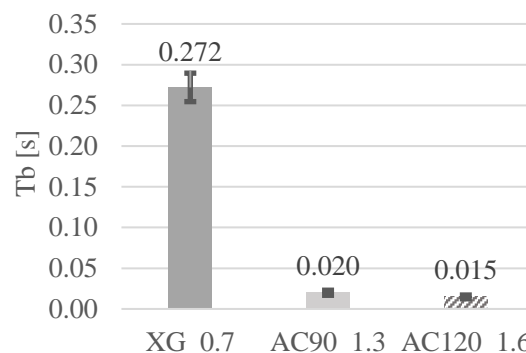


Fig. 1 The filament breakup time (T_b) of 0.7% XG solution (XG_0.7), 1.3% 90 minutes heat treatment XG solution (AC90_1.3) and 1.6% 120 minutes heat treatment XG (AC120_1.6). Shear viscosities of these solutions were adjusted to about 100 mPa·s at 50 s⁻¹. Error bars represent the standard deviation (n=10).

4. 考察

高温高圧処理によって低分子化していることが確認されたが、T_b は分子量に依存して短くなっていなかった。T_b の低下は低分子化だけではなく他の要因も寄与していることが推察される。熱処理によって低分子化以外の分子構造の変化も生じていると思われる。

5. 結言

XG を 135°C 90 分および 120 分間加熱処理することにより低分子化と T_b の低下が確認された。本発表では AFM による分子構造観察を行い、高温高圧処理による曳糸性低下について更なる考察を行う予定である。

文献

- 1) Gulrez, S. K. H., Al-Assaf, S., Fang, Y., Phillips, G. O. and Gunning, A. P.: Revisiting the conformation of xanthan and the effect of industrially relevant treatments. *Carbohydrate Polymers*, 90, 1235–1243, 2012

要旨

P ポスター発表

温風乾燥及び凍結乾燥鯛粉末の性状，嗜好性

島田良子*,**, 山崎萌依*, 山田梢***, 吉村美紀*,**

*兵庫県立大学 環境人間学部 [〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12], **先端食科学研究センター,
***西明石興業有限会社

1. 緒言

鯛はお祝い事の際だけでなく、日常的にもよく食される身近な食材である。鯛を刺身にした際に骨の間等に鯛の身が残ってしまうが、鯛のほぐし身にすれば食することができる。しかし、水分量が多く腐敗しやすいため、冷蔵庫での保存が必要であり、日持ちしにくいという欠点がある。

そこで、日持ちが良く、常温保存できる鯛の乾燥粉末品の創製を行うため、脂質の酸化が最も抑制される水分活性 0.3~0.4 となる乾燥条件の検討後、温風乾燥と凍結乾燥での乾燥方法の違いによる性状および嗜好性の比較を行った。

2. 実験方法

(1) 試料

茹でてほぐした、鯛のほぐし身（冷蔵保存）を使用した。鯛のほぐし身の水分量は、約 66.3%，水分活性は 0.90 以上であった。

(2) 乾燥条件

1) 温風乾燥試料：鯛のほぐし身を温風乾燥は 60°C で 6 時間乾燥後、ミルで 5 秒間粉碎した。水分活性が 0.30~0.40（水分量は約 7%）であることを確認し、調製後、1 週間以内に実験に供した。

2) 凍結乾燥試料：凍結乾燥は 7 時間で乾燥後、温風乾燥試料と同様に行った。

(3) 性状

1) 色調測定：測色色差計（日本電色工業株式会社製：ND-300A）を使用し、色調（L*値，a*値，b*値）を測定した。

2) 走査型電子顕微鏡（SEM）観察：金を蒸着後、走査型電子顕微鏡（日本電子（株）：JCM-5000）で高真空モード、加速電圧 10 kV，50 倍，1000 倍の倍率で観察した。

3) 比容積測定：20 mL メスシリンダーに各試料を 1 g 入れ体積を計測し、比容積とした。

4) 摺動測定：クリープメータ 2 軸物性試験システム（株式会社 山電：RE2-33005C（XZ））の摩擦測定モードを使用して測定した。プランジャーは XZ3 を使用した。測定条件は垂直荷重 0.100 N，摺動距離 10 mm，摺動速度 0.5 mm/sec，摺動方向は右とし、試料台に試料を擦切り入れて測定した。その後、微分値（N/mm）を算出した。

(4) 官能評価

鯛粉末 0.5 g を白飯 20 g にかけて行った。パネルは兵庫県立大学生 20 名（21.5±0.8 歳），見た目，かたさ，美味しさ等の 9 項目について 5 段階採点法で評価した（兵庫県立大学 研究倫理 No.292）。

3. 実験結果および考察

(1) 性状

温風乾燥試料の方が凍結乾燥試料よりも L*値は低く，a*値と b*値は有意に高かった。SEM 観察では，凍結乾燥試料の方が温風乾燥試料よりも表面に凹凸が多く，体積は約 1.5 倍であった。摺動測定の微分値の結果は，プラス側は粒子を擦ってあたる側であり，微分値が高いほど舌でざらつきを感じると推察される。一方，マイナス側は粒子を擦って通り過ぎる側であり，微分値が低いほどかたいことを示すと考えられる。温風乾燥試料の方が凍結乾燥試料よりも分布幅が広く，微分値に集計値を乗じた値はプラス側で有意に大きく，マイナス側で有意に小さかった。したがって，温風乾燥試料はかたく，ザラザラとした舌触りであるのに対し，凍結乾燥試料はやわらかい舌触りであると考えられた。官能評価の識別評価においてかたさ及び残留感に有意な差があり，凍結乾燥はやわらかく残留感が少なく，加熱乾燥はかたく残留感があるという結果が得られたため，摺動測定は粉末試料の硬さ解析にも応用が可能であると推察された。

(2) 嗜好性

見た目や香り，総合的な好ましさにおいては両試料とも好まれたものの，好みが分かれ，有意な差が認められなかった。

4. 結言

鯛の温風乾燥試料は，黄みが濃く香ばしく，かたい食感となり，凍結乾燥試料は，鯛本来の白さややわらかさ，風味を生かしたものとなり用途によって適した乾燥試料方法を選択することが可能である。

謝 辞

本研究は，令和 4 年度「ひめしん研究開発支援助成金」により実施した。摺動測定解析にご助言いただいた山電株式会社 渡辺洋一様に感謝申し上げます。

ライスジュレ・豆類粉混合クリームの方学的特性と官能評価

吉村美紀^{*,**}, 松本麻美^{*}, 島田良子^{*,**}

* 兵庫県立大学環境人間学部, ** 先端食科学研究センター

* [〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12]

1. 緒言

小麦粉代替を目的として、小麦粉の代わりにライスジュレ(米ゲル)を用い、タンパク質と食物繊維の補足のためソラマメ粉を混合したカスタードクリームを調製した。カスタードクリームの食感には、なめらかさが重要視される。

本研究では、カスタードクリームの食感について、テクスチャー測定、動的粘弾性、摩擦特性、粘度の方学的特性と官能評価の関連性から検討し、米ゲルとソラマメ粉の混合割合について評価した。

2. 実験方法

1) 試料: ライスジュレ(R と示す, ヤンマー(株)), ソラマメタンパク質濃縮(VITESSENCE PULSE3600:F と示す, イングレディオン・ジャパン(株)), RとFの混合比を変えた4種のカスタードクリームを調製した。Rの割合を43 g, 39 g, 21.5 g, 0 gとし, Fを0 g, 4.3 g, 12 g, 19.1 gとした。Rの水分量67.4%を考慮し, クリームの水分量を蒸留水で補った。以降, R:F=10:0, 9:1, 5:3, 0:4 と示す。測定は試料調製日(当日)と1日後に行った。

2) テクスチャー測定: クリープメータ(レオナー RE2-33005C, 山電製), 円柱プランジャー直径 10 mm, 測定速度 10 mm/sec, 2 回圧縮でかたさ, 凝集性, 付着性を求めた。

3) 動的粘弾性測定: レオログラフゾル(東洋精機製作所(株)), 周波数 0.3, 1, 3, 10Hz の4段階, 振幅±50 μm で貯蔵弾性率 G' , 損失弾性率 G'' , 損失正接 $\tan \delta = G''/G'$ を算出した。

4) 摩擦特性測定: クリープメータ2軸物性試験システム(RE2-33005C(XZ), 山電(株)), 摺動距離 30 mm, 垂直荷重 0.005 N, 垂直荷重フルスケール 2 N, ロードセル 20 N, プランジャー L17 XZ4 を使用した。初期摩擦点, 平均摩擦係数を算出した。

5) 粘度測定: RE80 型粘度計(東機産業(株))により, 10, 20, 50, 100 回転とし, 見かけの粘度を求めた。

6) 官能評価: 兵庫県立大学環境人間学部学生 20 名(平均年齢 21.45±0.74)からなるパネルで, -2~+2 の5段階採点法を用いた。兵庫県立大学倫理委員会(No. 296)の承認を得て, 対象者には口頭及び文章にて説明を行い理解と同意を得て実施した。

3. 結果および考察

1) テクスチャー測定: 当日試料のかたさ, 凝集性は R:F=9:1 が最大値を示した。すべての試料で当日より1日後試料が高くなった。

2) 動的粘弾性: Rの混合比率が高いと弾性的要素が, Fの混合割合が高いと粘性的要素が強くなった。すべての試料で当日より1日試料で G' , G'' は上昇した。

3) 摩擦特性: 平均摩擦係数は, R:F=9:1 が最大値を示した。Fの混合割合が高いと摺動距離初期に破断するような摩擦抵抗を捉え, 摺動距離後半にかけ摩擦係数が減少する挙動が観察された。

4) 粘度測定: 試料間に有意な差は認められず, いずれの試料も速度上昇に伴い粘度が減少するずり流動化流動を示した。

5) 官能評価: なめらかさは, R:F=10:0, 9:1 がなめらかと評価され, R:F=0:4 はざらつくとして評価された。Fの混合割合が高いとざらつき, まとまりにくく, 飲み込みにくく, おいしくないと評価された。カスタードクリームとしてはなめらかさの評価の高い, R:F=10:0, 9:1 が適し, たんぱく質と食物繊維の栄養成分補足のためには R:F=9:1 が最適であると考えた。

6) ピアソン積率相関: 官能評価のかたさと方学的特性値との相関が認められなかった。いずれの試料も, 摩擦特性で摺動距離初期に破断するような摩擦抵抗を捉え, 摺動距離後半にかけ摩擦係数が減少する挙動が観察されたことより, クリームの構造が破壊されやすかったことが, 官能評価のかたさに影響したと推察した。なめらかさは損失正接 $\tan \delta$ 0.3Hz と負の相関, 10Hz と正の相関が認められ, 低周波数側で弾性的, 高周波数側で粘性的要素が高い方がなめらかと評価された。初期摩擦点係数と平均摩擦係数の差が大きい方がざらつくとして評価される傾向であった。

4. 結言

小麦粉代替を目的としたカスタードクリームは, なめらかさの評価の高い, R:F=10:0, 9:1 が適し, たんぱく質と食物繊維の補足のためには R:F=9:1 が最適であると考えた。官能評価のなめらかさは, 損失正接と相関, 初期摩擦点係数と平均摩擦係数の差に関連がみられた。

新タマネギ葉パウダー添加クッキーの 物理化学的特性と嗜好性

湯浅正洋*, 瀧本彩**, 島田良子***, 富永美穂子****

*神戸大学 大学院人間発達環境学研究科 [〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3丁目11]

**広島大学 教育学部

***兵庫県立大学 環境人間学部

****広島大学 大学院人間社会科学研究所

1. 緒言

新タマネギの葉は通常、出荷前に廃棄されるが、抗酸化物質の良い供給源となることが報告されている。他方で、先行研究では、植物性食品の廃棄部位などの有効利用例として、クッキーなどの小麦粉製品に添加して利用する方法が提案されている。本研究では、これら先行研究にならない、食品廃棄物である新タマネギ葉の有効利用方法の提案を目指し、これを添加したクッキーを調製し、その物理化学的特性と嗜好性を評価した。なお、新タマネギ葉は水分を多く含むため、事前に乾燥させてパウダー状にしてからクッキーに添加した。

2. 実験方法

1) 試料：乾燥方法の異なる新タマネギ葉（凍結乾燥=FD, 低温乾燥=LD）のパウダーを用いた。

2) クッキーの調製方法：小麦粉のみのプレーンクッキーをコントロールとし、小麦基重量の5, 10, 20%を、新タマネギ葉（FD）パウダーで置換したクッキーを調製した。また、小麦粉重量の10%をLDパウダーで置換したクッキーも同様に調製した。

3) 破断解析：クリープメータ（RE2-33005B, [株]山電）を用い、くさび型プランジャー（No. 49, W13×30°）で、最大荷重200N, 測定速度1.0mm/sec, 歪率95%の条件で、破断歪、破断応力、破断エネルギーおよびもろさ応力を評価した。

4) 表色：色彩色差計（CR-200, コニカミノルタ[株]）を用い、L*値、b*値およびa*値を測定した。色差 ΔE については、以下の式により求めた。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

5) 抗酸化性：活性酸素吸収能力（Oxygen Radical Absorbance Capacity, ORAC 値）を専用測定キットで、総フェノール化合物をFolin-Ciocalteu法で、総ビタミンCを日本食品標準成分表2020年版で採用されているHPLC法で、それぞれ測定した。

6) 官能評価：2) で示した5種のクッキーにおいて、香りの好み、色・見た目の好み、食感など9項目を、7段階の評点法で評価した。教育学部所属

の19~24歳の男女学生をパネルとし、本研究の趣旨と意義を説明したうえで、同意を得て実施した。

3. 実験結果

1) クッキーの破断特性：FDパウダー20%添加クッキーで、コントロールと比べて破断応力と破断エネルギーが高値を示した。破断歪ともろさ応力には、全てのクッキー間で差はみられなかった。

2) クッキーの表色：a*値は、FDパウダー添加5%以上で低下した。FDパウダー添加量依存的に、L*値とb*値は低下し、色差 ΔE は上昇した。

3) クッキーの抗酸化性：総ORAC値、総フェノール化合物および総ビタミンCは、FDパウダー添加量依存的に上昇した。FDパウダー10%添加クッキーと比べ、LDパウダー10%添加クッキーの総ORAC値と総ビタミンCが高値を示した。

4) クッキーの官能特性：FDパウダー添加量依存的に、ネギ様の味の強度の上昇、甘味強度の低下、香り・外観・甘味・後味・味の好みと総合評価の低下が確認された。全てのクッキー間で、食感（ショートネス性）には差はみられなかった。

4. 考察

FDパウダー添加は、小麦粉重量の20%以上でクッキーの見かけの硬さを上昇させるが、実際の食感には影響しないことが明らかとなった。FDパウダー添加はクッキーをネギらしい緑色に変化させ、添加量が多いと暗い色となった。クッキーの抗酸化性はFDパウダー添加量依存的に上昇したが、LDパウダーを使用すると抗酸化性がより高くなった。新タマネギ葉パウダーの添加は、クッキーの風味をネギらしく変化させ、添加量が多いと呈味や外観を損なう恐れがあることが示唆された。

クッキーに対する新タマネギ葉パウダーの添加は、20%までであれば実際の食感を変化させず、抗酸化性の強化が見込めるものの、色、外観、味、香りなどを変化させ、クッキーの嗜好性を低下させる可能性があることが明らかになった。今後は、受容性を勘案した適切な添加量について、検討していく必要があると考えられる。

大豆たんぱく質・大豆多糖類を混合した食パンの物性と若年者と高齢者の咀嚼性

佐々木琴美*, 島田良子***, 江口智美***, 桑野稔子***, 吉村美紀***

*兵庫県立大・院 [〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12], **先端食科学研究センター, ***静岡県立大

1. 緒言

高齢化が進む日本において要介護者の増加が深刻な社会問題となっている。要介護になる原因として低栄養が挙げられる。低栄養とは健康的に生きるために必要な量の栄養素が摂れていない状態を示し、その中でもたんぱく質・エネルギーが十分に摂れていないことを PEM (Protein energy malnutrition) と呼ぶ。PEM が進むとサルコペニアおよびフレイルの発症および進展のリスクとなる。さらに、栄養障害は認知機能などの QOL 低下のリスクを増大させることから、介護予防として、食事を通しての適切な栄養摂取は重要である。また、高齢者だけでなく、若年者も栄養摂取に気を付け、生活習慣病を予防することが重要である。そこで、低栄養および生活習慣病予防に効果のある食品成分を含む大豆成分を混合した食品を創製し、その物性、咀嚼性、嗜好性を検討した。

2. 実験方法

(1) 試料

大豆たんぱく質 (SPI, 「粉末状大豆タンパクフジプロ-SE」, 不二製油(株)), 大豆多糖類 (SSPS, ソヤファイブ-S-ZR100, 不二製油(株)) を大豆成分として用い、強力粉の一部を置換し4種のパンを調製した(表1)。

表1 食パンの配合

(g)	コントロール(C)	SP1	SP2	SP3
強力粉	250	220	210	200
大豆たんぱく質		30	30	30
「粉末状大豆タンパクフジプロ-SE」不二製油(株)				
大豆多糖類			10	20
「ソヤファイブ-S-ZR100」不二製油(株)				

(2) 食パン調製方法

製パンは自動ホームベーカリー (SD-DMT1000, Panasonic(株)) を用い、焼成後1日間保存後、20mm幅6枚にスライスした。

(3) 実験方法

- 1) 比容積測定: 1日間保存した食パンの重量測定後、菜種置換法で体積測定し、比容積 (cm³/g) を算出した。
- 2) 表面色測定: 測色色差計 (日本電色工業株式会社製: ND-300A) を使用し、色調 (L*値, a*値, b*値) を測定した。
- 3) テクスチャー測定: (株)山電製クリープメーター RE II-3305B で内相 (クラム, 20mm の立方体) のテクスチャー測定 (かたさ, 付着性, 凝集性) を行った。直径 30mm 円柱状プランジャーを使用し、スライス断

面がプランジャーに対して垂直になるようにパンを試料台に置き、速度 1mm/s, 試料の高さ 70% までの圧縮を 2 回繰り返した。

4) 官能評価: 若年者 (20 名, 年齢 21.7±1.18 歳) と高齢者 (12 名, 年齢 73.4±4.6 歳) に 5 段階採点法による官能評価を行った。

5) 咀嚼筋筋電位測定: 咬筋と舌骨上筋群について測定するため、両こめかみと下あごの肌表面にセンサーをつけた。筋電位を 1000 倍に増幅して記録し、咬筋については左右の平均値を求めた。被験者は自由に咀嚼・嚥下し、若年者 (10 名, 年齢 22.5±1.4 歳) は 4 試料を 2 回ずつ計 8 回測定、高齢者 (12 名, 年齢 73.4±4.6 歳) はコントロール (C) と SP2 の 2 試料を 2 回ずつ計 4 回測定した。咀嚼特性値は、咀嚼回数, 咀嚼時間, 総筋活動時間, 総筋活動量 (筋電位の時間積分値) を求めた (兵庫県立大学 研究倫理 No. 260)。

3. 実験結果および考察

コントロール (C) パンと比較して大豆タンパク質を混合した食パン (SP1 パン) は比容積が小さいことから膨化率が低く、かたく、ややまとまりにくいテクスチャーとなった。官能評価では香りや味、食感が低い評価となり、好まれなかった。大豆タンパク質に加えて大豆多糖類を混合した食パン (SP2 パン) は SP1 パンに比べて、膨化率は上昇し、やや軟らかいテクスチャーとなり、官能評価ではコントロール (C) には及ばないものの、SP1 パンより高い評価を示し、食感の改善がみられた。SP2 パンより大豆多糖類の混合量を倍増させた SP3 パンは、SP2 パンに比べて、膨化率は下がり、かたく付着性が高くなった。

若年者において咀嚼実験ではいずれの項目も有意差は認められなかったが、物性試験でやわらかかったコントロール (C) パンは咀嚼回数や咀嚼時間が短い傾向を示した。高齢者もコントロール (C) パンと比較し、SP2 パンの方が咀嚼回数, 咀嚼時間が長くなり、総筋活動量や総筋活動時間がやや上昇した。そのため、大豆たんぱく質と大豆多糖類を適量混合したパンは咀嚼力を増やすことができるパンである可能性が示された。

レジスタントスターチ混合麺の物性・嗜好性・咀嚼性

鷺田さゆり*, 島田良子***, 吉村美紀***

*兵庫県立大学[〒670-0092 姫路市新在家本町 1-1-12], **先端食科学研究センター

1. 緒言

レジスタントスターチ(resistant starch, RS)とは、ヒトの小腸で消化吸収されることのないデンプンおよびデンプンの部分分解物の総称である。血中コレステロール濃度低下作用、血糖上昇抑制作用、腸内環境改善効果などの食物繊維に類似した栄養・生理機能を有している。

ハイアマロースコーンスターチ(HACS)とは、アマロース含量が60%以上のトウモロコシ由来のデンプンであり、水分の多い状態で加熱してもRSが多く残存する。本研究では、HACSを混合したうどんの物性・嗜好性・咀嚼性について検討し、ヒトの健康に貢献する、嗜好性の高い食品を創製することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 材料

薄力粉・強力粉(榊日清製粉welna), HACS(イングレディオンジャパン(株)), 食塩, 蒸留水

(2) 試料調製

小麦粉 300 g (薄力粉: 強力粉=1:1)に 6.25%の食塩水(38°C) 160 gを加え、ホームベーカリーのおうどんモードで15分間捏ねた。HACSを混合しないうどんをHACS 0%とし、HACS混合うどんは、小麦粉のうち、5%, 10%, 20%をHACSに置換した。なお、HACS 10%, 20%では、まとまりをよくするため、蒸留水 1~5 g, 3~17 gを追加した。25°Cで1時間寝かせたのち、強力粉 10 gの打ち粉をし、製麺機で生地を厚さ 3 mm, 長さ 15 cm, 幅 6.5 mmに切断した。麺を沸騰水で10分間茹で、イオン交換水に20秒間浸漬した。

(3) 測定項目

1) 貫入特性: クリーブメータを用いて直径 3 mmのプランジャーを使用し、圧縮速度 1 mm/sec, 歪率 95%, アンブ倍率 1 倍, ロードセル 20N で荷重と初期弾性率を測定し、硬さとし、歪 0.9 と 0.1 の荷重の差をこしとした。

2) 表面色測定: 測色色差計を用いて L*値, a*値, b*値を測定し、HACS 0%との色差 ΔE を算出した。

3) RS 量測定: 茹でた後、凍結乾燥したうどんのRS量をレジスタントスターチ測定キット(メガザイム社)を用いて行った。

4) 構造観察: 偏光顕微鏡と共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡を用いて観察を行った。

5) 官能評価: パネルは咀嚼・嚥下機能に異常のない学生 10 名(21.3±0.7 歳)とした。8 項目について 5 段階採点法で評価した。

6) 咀嚼筋筋電位測定: Personal-EMG Plus を用いて舌骨上筋群と咬筋の筋電位を測定し、咀嚼回数・時間, 筋活動時間・量, 総筋活動時間・量, 振幅を求めた。パネルは咀嚼・嚥下機能に異常のない学生 10 名(21.7±0.5 歳)とし、4 種類の試料を自由に咀嚼・嚥下してもらった(兵庫県立大学 研究倫理 No.280)。

3. 実験結果および考察

貫入試験では、10%までは軟化し、20%では硬くなる傾向があった。また、初めの噛み応えはあるがこしがなく傾向にあった。

表面色測定では、HACSの混合量が増すほど明度が上昇する傾向にあった。

RS量はHACS混合量が多いほど増加しており、偏光顕微鏡観察でも、RSが残存していることが確認された。共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡観察では、グルテンのネットワーク構造が減少していたため、こしがなくなったと推察された。

官能評価では、0%が有意に硬く、20%はこしがなく、粉っぽいという評価だった。嗜好性には有意な差は認められなかったが、適度なやわらかさとこしがあり粉っぽくないHACS 5%, 10%混合うどんが好まれる傾向にあった。

筋電位測定では、0%に比べ20%で咀嚼回数が減少する傾向($p<0.1$)が見られ、HACSの混合量が増すほど舌骨上筋群、咬筋共に咀嚼回数・時間、総筋活動時間・量が減少する傾向にあった。

4. 結語

うどんにHACSを混合すると色は白く、やわらかく、こしがなくなるため、咀嚼時間や回数等が減少することが推察された。よって、HACS混合麺の物性・嗜好性・咀嚼性は関連し合っていることが示唆された。総合的なおいしさには有意な差はみられなかったため、食物繊維の摂取量を増加させる上では20%混合しても日常的な摂取には問題ないと推察された。しかし、粉っぽさやこしのなさを感じる人もいるため、5%や10%が特においしく食べられ、適度に食物繊維の摂取量を増加させられると示唆された。

バイオチューブ人工血管による血管バイパス術時の血管吻合法と血流の関係

樋口皓太*, 中山泰秀**, 田地川勉***

* 関西大学大学院 理工学研究科 [〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

** バイオチューブ株式会社

*** 関西大学 システム理工学部

1. 緒言

バイオチューブ（以下、BT）は生体内組織形成術で作られる自家/他家のコラーゲンからなる管状組織体で、新たな再生血管として期待され、重症下肢虚血患者への医師主導治験が開始されている。本研究では、吻合術時の形状を再現したBT・血管吻合モデルを作成し、これに血圧を負荷する事で生じる変形をFEM解析で予測し、さらに、その結果を基にしたCFD解析によって、術後の血流刺激による血管閉塞リスクを低減できる理想的な吻合形態を検討した。

2. 解析方法

吻合時に血管に血圧が負荷されていないことを考慮して、橢円断面を有するBTと血管をつないだモデルを作成した（図1）。モデルは形状パラメータとして吻合角を $\theta = 30, 45, 60, 75, 90 \text{ deg.}$ 、並走する2血管の管軸間距離を $h = 7, 8, 9, 10, 11, 12 \text{ mm}$ と変化させた。これらモデルに対してFEM解析した。計算条件として、実験的に得られたバイオチューブのヤング率と文献から得た高血圧患者の血管のヤング率 ρ を与え、各管の端を固定端として経壁圧 $p_r = 133 \text{ mmHg}$ を負荷した。

得られた血圧負荷後の血管内腔形状をCFD解析用モデルとした。なお近位側・遠位側の両吻合部間は、患者の閉塞した動脈を再現するために、つなぎ合わせる直円管の直径をバイパス血管よりも小さくした。計算条件として、下肢動脈の流れのレイノルズ数が数百程度であるため、流れは層流とし、流体をニュートン流体と仮定した。流入条件として、図2に示す超音波ドップラにより得た、バイパス術直後の患者の下肢動脈血流量波形（拍動周期： $T = 0.92 \text{ s}$ ）を与え、3心拍分の解析を行い、そのうち3周期目を評価対象とした。

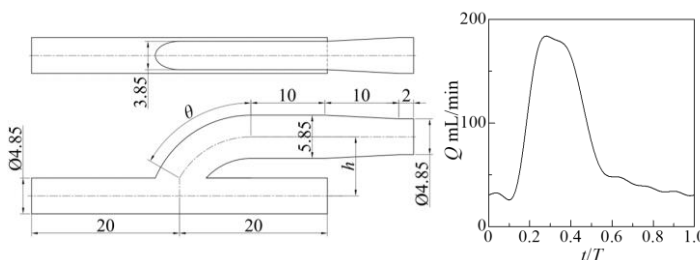


Fig. 1 Bypass vessel model for FEM ($\theta = 60 \text{ deg.}$, $h = 8 \text{ mm}$).

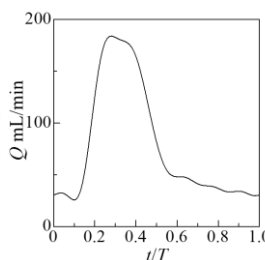


Fig. 2 Inlet flow rate waveform.

血管閉塞の要因となる内膜肥厚は、低い壁面せん断応力WSS領域で起こりやすい²⁾ため、時間平均壁面せん断応力TAWSSを求めた。

$$TAWSS = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |WSS| dt$$

評価指標としては、TAWSSを、同じ直径 d の直円管を計算条件で与えた血流量波形の時間平均流量で流れるHagen-Poiseuille流れの壁面せん断応力 WSS_{HP} で無次元化し、それが0.5未満となる血管内腔の表面積 S_{TAWSS^*} を吻合部に限定して算出し、比較した。

3. 結果および考察

図3にモデルの形態パラメータと近位側と遠位側の S_{TAWSS^*} の関係を示す。結果として、今回設定した形状パラメータの条件下では、近位側は $\theta = 60 \text{ deg.}$, $h = 12 \text{ mm}$ 、遠位側は $\theta = 75 \text{ deg.}$, $h = 12 \text{ mm}$ の形状で最も評価指標が低値であった。これは上記の吻合形状の場合、近・遠位側の吻合部の流れのはく離が最も抑制されたことが要因と考えられる。また、管縫合時に管同士の接触面積が大きくなる $\theta = 30 \text{ deg.}$ やその逆に接触面積が小さくなる $\theta = 90 \text{ deg.}$ では、近・遠位側共に、2血管の距離に関係無く、はく離域が増加することで、評価指標が高値を示す傾向にあった。

4. まとめ

今回設定した形状パラメータの範囲内では、近位側は $\theta = 60 \text{ deg.}$, $h = 12 \text{ mm}$ 、遠位側は $\theta = 75 \text{ deg.}$, $h = 12 \text{ mm}$ の形状で低WSSとなる血管表面積が小さかった。

文献

- 1) D. Bia, et al., Cell Tissue Banking, 8, pp. 43-57, (2007).
- 2) E. Sho, et al., J Vasc. Surg., 39(3), pp. 601-612, (2004).

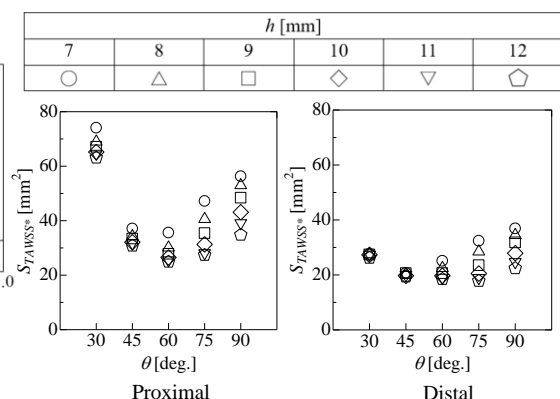


Fig. 3 Comparison of high occlusion risk areas.

バイオシートを用いた二葉型人工房室弁の開発 (シート形状の工夫による形状最適化の試み)

木村高宏*, 中山泰秀**, 田地川勉***

* 関西大学大学院 理工学研究科 [〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

** バイオチューブ株式会社

*** 関西大学 システム理工学部

1. 緒言

我々は、生体内組織形成術で得たコラーゲン組織シート（バイオシート:以下 BS）で作製した人工心臓弁を開発してきた。これまでに、房室弁を模した人工弁も開発したが、構造が複雑なため移植難易度が高く実用化には至っていない。そこで本研究では、BSを使った簡易型人工房室弁の開発を目標とし、2つのピラーを有する金属製ステントに、管状のBSを弁尖として縫い付けることで二葉型人工弁を作製した。本報告では、弁尖の形状が弁機能におよぼす影響を調べた。

2. 実験モデル

BSの作製には、約1~2か月要することから、形状パラメータを振って実験をすることは効率が悪い。そこでBSと力学特性を合わせたポリウレタンシートを用いて弁尖モデルを作製し、形状パラメータを変化させることで形状最適化を試みた。図1に示すように厚さ $h = 80 \mu\text{m}$ の異なる弁尖モデルをステントのピラーに縫い付け二葉型の実験モデルを作製した。無負荷時に弁口が開いた直管状のOpen straightモデルとテーパ状のOpen taperモデル、無負荷時に弁口が閉じたClosed taperモデルを作製した。Taperモデルでは、弁口直径 D_{FE} と弁輪径 D_R の比で定義した弁尖直径比を、Openモデルで $D_{FE}/D_R = 0.7, 0.8$, Closedモデルで $D_{FE}/D_R = 0.8$ とした。なお、Open straightモデルは、 $D_{FE}/D_R = 1.0$ である。

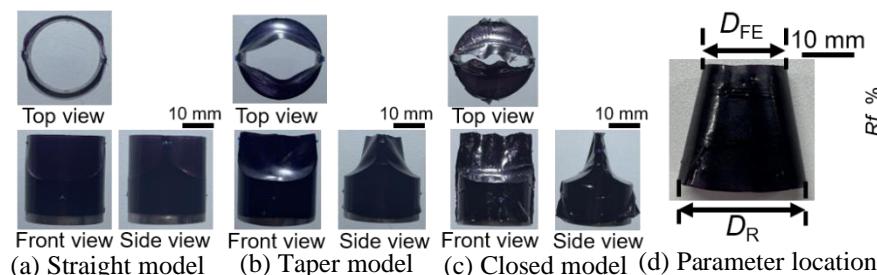


Fig. 1 Fabricated bi-leaflet atrioventricular valve model.

3. 実験方法

実験装置および実験条件は、先行研究¹⁾と同様である。実験では、左心房圧、左心室圧、僧帽弁位流量を測定し、人工弁の国際規格であるISO5840の定義²⁾に従い、有効開口面積 EOA と逆流率 R_f を求めた。なお本研究でのクライテリアは、ISO5840²⁾に基づき $EOA \geq 0.8 \text{ cm}^2$, $R_f \leq 13 \%$, また既に臨床応用されているステント付き生体弁の性能³⁾を外挿することで算出した基準値として、 $EOA \geq 1.1 \text{ cm}^2$, $R_f \leq 2 \%$ の2つを設けた。実験では、全ての実験モデルに対して、ステントからの弁尖はみ出し量 $e = 3 \text{ mm}$ 一定とし、サンプル数 $n = 5$ で実験を行った。

4. 実験結果および考察

各弁尖モデルの弁開口性能と閉鎖性能の関係を図2に示す。試作した弁のうち、全てのOpenモデルで EOA の臨床基準を満足した。 D_{FE}/D_R が小さくなることで EOA が低下したが、これは弁尖に設けたテーパの影響で、特に問題はない。一方 R_f は、TaperモデルでISOの要求値は満たしたが、いずれも臨床基準を満たすことができなかった。

文献

- 1) 関戸他, 生体医工学, 59(6), pp.146-153, (2021).
- 2) ISO5840-1: Cardiovascular implants -Cardiac valve prostheses-, 1st Ed., (2015).
- 3) A. P. Yoganathan et al., Annu. Rev. Biomed. Eng., 6, pp.311-362, (2004).

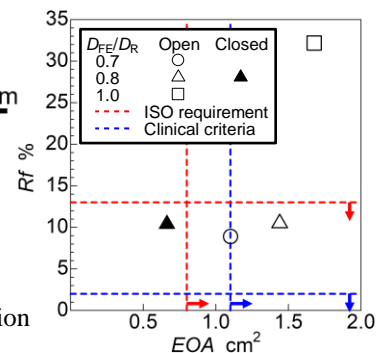


Fig.2 Effects of different valve leaflet geometries on valve function.

流れと物質輸送の1次元数理モデルによる膵・胆管合流異常および高位合流における胆汁・膵液流れのシミュレーション

守屋智輝*, 福澤宏明**, 田地川勉***

*関西大学大学院 理工学研究科 [〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

**日本赤十字社 姫路赤十字病院 小児外科

***関西大学 システム理工学部 機械工学科

1. 緒言

膵・胆管合流異常 (以下, PBM) では, 膵液の胆道内への逆流が見られる場合があるが, 明確な PBM が認められない場合でも膵液が逆流する場合があります, その発生機序は不明である. そこで本研究では, 胆道内の胆汁・膵液の流れと物質輸送を1次元数理モデル化し, 胆管への膵液逆流のメカニズムの解明を試みた.

2. 1次元数理モデルおよび計算方法

胆嚢からの胆汁排出期は胆嚢圧が高く, 膵液逆流は起きにくいいため, モデル化の対象を食事直後の最小胆嚢容積時から次の食事開始までとした. 受動的と考えられる胆嚢拡張時のその体積と圧力変化の関係をコンプライアンス ($C'_{GB} = dV_{GB}/dp_{GB}$) を定数とする比例関係と仮定し, 膵・胆管の直径が胆嚢直径と比べ極めて小さいため圧力変化に伴う変形は無視した. 胆道内流れの Schmidt 数は高値なため物質輸送は移流支配で, Reynolds 数は10以下のため膵・胆道で発生する圧力損失は Hagen-Poiseuille 流れによる摩擦損失が支配的で, 急な断面積変化や分岐・合流による損失は無視した.

図1のように膵・胆管を等価な流体回路要素に置換し, (1) 連続の式(総肝管(CHD)・総胆管(CBD)・胆嚢管(CD)の合流部, 総胆管・主膵管(PD)・共通管(CC)の合流部, 胆嚢管からの流入と胆嚢(GB)の容積変化と水分吸収), (2) 胆嚢容積とその内圧変化の関係, (3) 損失を考慮したベルヌーイの定理(十二指腸にある胆道出口部と胆嚢間), でそれぞれ定式化した. なお胆道出口付近の Oddi 括約筋の作用がおよぶ範囲は, 周期的に管直径が変化する可変抵抗とし, その直径が10秒周期で変化する挙動を矩形波的に与えた. 胆道出口の十二指腸内圧が腹腔圧 (\approx 大気圧 p_0) と仮定し, 全ての支配方程式を整理すると, 以下の2式が得られる.

$$-Q_{CD} = \frac{\tilde{R}_{CC}(Q_{PD} + Q_{CHD}) + Q_{CHD}(\tilde{R}_{CBD} + R_{CBD})}{\tilde{R}_{CC} + \tilde{R}_{CBD} + R_{CBD} + R_{CD}} - p_{GB}$$

$$dp_{GB} = \frac{-(Q_{CD} + Q_{WA})}{C'_{GB}} dt$$

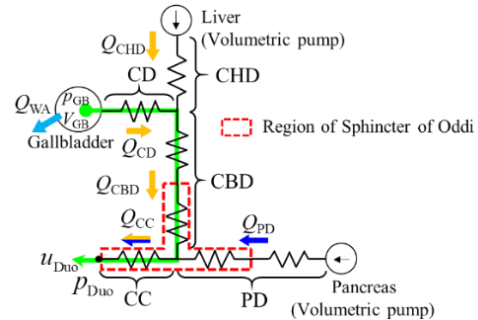


Fig. 1 Mechanically equivalent fluid circuit for anatomically normal pancreaticobiliary ducts.

また, 胆道内では胆汁と膵液の混合により, それらの粘度が変化するため, それらに含まれる主成分の濃度と相関するとして, その濃度の1次元移流方程式を1次精度風上差分法で同時に解き, それを元に膵液・胆汁の混合による粘度変化を流れの計算に反映させた.

文献から得た解剖学的パラメータや境界条件¹⁾などを使い, 支配方程式を修正オイラー法で陽的に解き, 胆嚢への胆汁再充填過程を計算した.

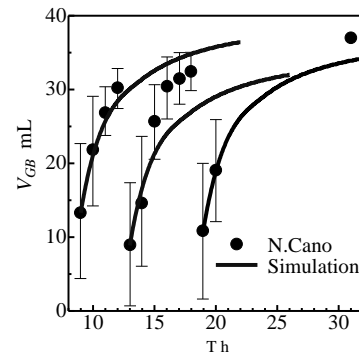


Fig. 2 Simulated time temporal gallbladder volume variation.

3. 結果および考察

図2に結果の一例として, 朝食から翌朝8時までの胆嚢体積の経時変化を表す. 夕食直後の胆嚢体積の時間変化は実測値²⁾とおよそ一致していた. 今後, 膵・胆道の形態パラメータが膵液逆流におよぼす影響を調べる予定である.

文献

- 1) Fukuzawa H, et. al., J Hepatobiliary Pancreat Sci. 2020;27:265-72.
- 2) Cano et. al., Gastroenterology. 1986;91:313-7.

要旨

優秀ポスター賞応募

流動計測支援型レオメトリによる食品開発・製造のDX推進

大家広平*, 芳田泰基**, 田坂裕司*, 村井祐一*

* 北海道大学 工学部 流れ制御研究室 [〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目]

** 産業技術総合研究所 計量標準総合センター [〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1]

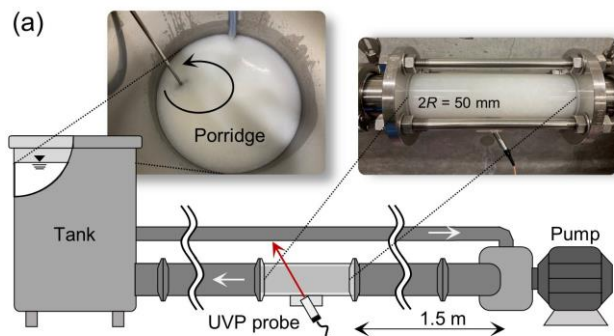
1. 緒言

AIとビッグデータの活用により、社会課題の解決や新たな価値創造を目指す超スマート社会では、良質なデータの蓄積がイノベーションの源泉となる。実世界のデータを高精細に取得できるセンシング技術の重要性が高まっている。食品分野においては、粘性や粘弾性に代表されるレオロジー物性の計測がその代表例である。製品の機能性や内部組成に関連する流動物性は、新材料開発やプラント制御における重要な指標となる。

一方で、食品の多くは不均質で非平衡な系であり、物性評価の対象としての難しさがある¹⁾。本研究グループでは、このような複雑流体の物性評価を目指して、流動計測支援型レオメトリの開発を行ってきた²⁾。ここでは、その原理と模擬的な生産工程におけるリアルタイム計測の例を紹介する。

2. 計測原理

超音波流速分布計（UVP）により対象流体の速度分布を計測し、流体の運動方程式を媒介して構成方程式に含まれる物性定数を逆算的に推定する。管内流れであれば、軸対称かつ一方向流れを仮定した運動方程式 $\rho \partial u / \partial t = \alpha(t) + (\partial / \partial r + 1/r)\tau$ を用い、剪断応力と歪み速度の関係を $\tau = \mu \partial u / \partial r$ とすれば、各半径位置での粘度が決定される。実際の解析では、UVPの計測ノイズを抑制するため、フーリエ空間での位相情報を用いる。詳細は既報³⁾を参照頂きたい。管内で歪み速度の強度が分布するため、擬塑性を瞬時に評価できる。また、 $O(1\text{ mm})$ サイズの分散体を含む場合にも、バルクとしての粘度を評価できるのが本手法の強みである。



3. 実験結果

実験装置の概略を図1(a)に示す。評価対象として、市販のおかゆを選んだ。ポンプにより閉ループ内に脈動流 ($f = 1.0\text{ Hz}$) を発生させ、UVPを用いて管内の時空間流速分布を計測した。その間、貯蔵タンクに蒸留水、主成分が澱粉の増粘剤、 α アミラーゼを順に混ぜ合わせ、過渡的な生産工程を模擬した。得られた一連の流速情報を解析することで瞬時の粘度曲線を獲得し、そこから抽出した擬塑性パラメータの時間変化を図1(b)に示す。歪み速度 1 s^{-1} での粘度を示す K に着目すると、蒸留水の添加により粘度が低下し、続いて澱粉による増粘効果、加水分解による粘度低下が確認できる。

4. 結言

本稿では、流速情報を用いたレオメトリの原理と過渡的な生産工程への適用例を紹介した。発表では、同原理に基づく超音波スピニングレオメトリを用いたとろみ調整食品の機能性評価、および、その物性情報に基づく管内流動予測についても紹介する。流動食品の開発・製造のDX化において、これらの技術がその実現の一助になることを期待している。

謝辞

本研究は、JSPS 特別研究員奨励費 (JP22J20991)、JST さきがけ (JPMJPR2106) の支援を受けている。

文献

- 1) Yoshida *et al.*, *Phys Fluids* 31(10), 2019.
- 2) Yoshida *et al.*, *Nihon Reoroji Gakkaishi* 50(1), 2022.
- 3) Tasaka *et al.*, *Exp Fluids* 56(1), 2015.

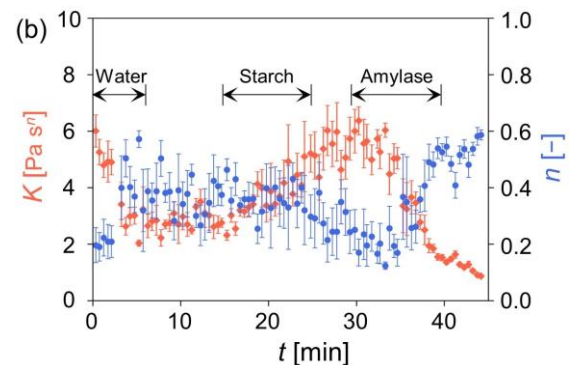


Fig 1. (a) Schematic of the experimental setup, and (b) temporal profiles of the consistency K and flow index n , where $n = 1$ represents Newtonian fluid and shear-thinning appears as n decreases.

ココアの乳化構造と物性の温度依存性

高井実花*, 川端庸平*, 金田勇*

* 酪農学園大学 [〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582]

1. 緒言

ココアとはココアパウダーに水や牛乳, 砂糖を加え混ぜた, 水中油滴型の乳化構造の飲み物である. ココアパウダーに含まれているココアバターは, 融点が 33°C 程で, 調理の際の温度や混合の仕方によって均一に混ざらず食感にも大きく影響する¹⁾.

そこで本研究では, ココアの作成温度と保存温度が油脂の乳化構造状や物性にどのように影響を与えているのかをレオメーター, トライボロジー, 偏光顕微鏡で調べることを目的とした.

2. 実験方法

サンプル調整: 純ココア, 粉糖, 熱湯 30ml をカップに入れ, このカップに攪拌羽根を入れ 250rpm で 3 分間 80°C の恒温水槽で湯煎しながら予備攪拌させた. その後熱湯 120ml 加え, 再度 3 分間攪拌させた. その後遠沈管にサンプルを入れ, 60, 40, 20, 10°C の恒温水槽にそれぞれ入れて 15 分以上保存してから測定した.

レオロジー測定: 応力制御型レオメーター MCR301 (AntonPaar 社製) を用いて, 10~60°C で測定を行い, 100 s⁻¹ のせん断速度で 100 秒間, ココア成分が沈殿する前に粘度を測定した.

トライボロジー測定: AntonPaar 社製トライボロジー治具を MCR501 に取り付け, 法線応力 1N に固定してすべり速度 0.0047~141 mm/s でストライベック曲線を各温度において測定した.

偏光顕微鏡: 偏光顕微鏡観察はオリンパス社製 BX51 を用い, TokaiHit 社製のガラスヒーターにて室温ならびに 50°C 設定でココアサンプルを観察した.

DSC 測定: ココアパウダーを試料パンに詰め, SII 社製 DSC120 で 2°C/分, 8~50°C の昇温条件で測定した.

小角 X 線散乱 (SAXS) 測定; NanoViewer (Rigaku 社製) を用いた. カメラ長は 80 cm, 測定時間は 10 分とした.

3. 実験結果

定常流粘度測定で得られたココアの相対粘度 (η/η_0 : η_0 は水の粘度) は温度によらずほぼ一定であった. 一方 Fig. 1 で示す通り, トライボロジー測定で得られたストライベック曲線は低温側

(10, 20°C) の摩擦係数が高温側と比較して 2 倍程度大きな値を示した. SAXS プロファイルではココアバターの 4 型結晶由来のピークが確認されたが, 室温ではこのピークが消滅した. この結果と対応するように, 偏光顕微鏡画像では, 室温において油脂結晶由来の複屈折が観察されたが, 50°C でこの複屈折は減少傾向を示した.

4. 考察

これらの結果から, ココアバターの融点 33°C より低温側では乳化油滴が結晶化し, 摩擦測定固体表面間で摩擦が増すような働きとなった一方, 高温側で液状油となり, 摩擦を減少させたことがわかった.

5. 結言

純ココアを用いたココアサンプルを作成し, 食感と関係するレオロジー・トライボロジー測定と, DSC, 偏光顕微鏡観察, SAXS 測定によるココアバターの分散構造の検証を行った.

ココアバターの融点以上では,

- O/W 型のエマルジョンを形成すること
- 固体表面間に油膜となって摩擦を低下することがわかった. 一方融点以下では,
- ココアバターの固体分散状態となる
- 固体表面間に油が入り込まず摩擦が増大することがわかった.

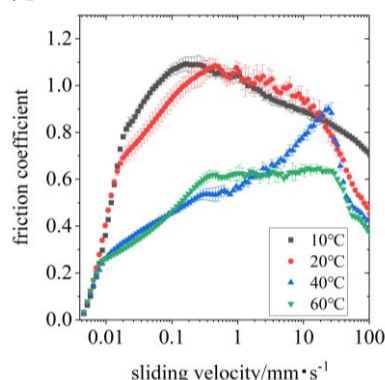


Fig.1 Stribeck curve of cocoa drinks at each temperature.

文 献

- 1) M. Terauchi, J. Soc. Cosmet. Chem. Japan. **29**, 3-11, 1995.

血小板血栓の初期形成過程におよぼすポリフェノールの効果

清水瑛羅*, 佐藤万理亜**, 山下夢朗**, 小林栞莉**, 平井美由紀**, 田村典子*, **

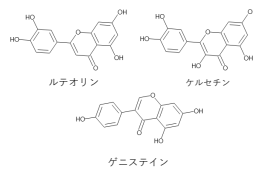
*新潟医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科 健康科学専攻

**新潟医療福祉大学 健康科学部 健康栄養学科

[〒950-3198 新潟県新潟市北区島見町 1398]

1. 緒言

ポリフェノールは植物由来の化合物であり、約 8000 種も存在する。なかでもフラボノイド類には、血小板凝集抑制効果があるとされており、イソフラボノイドのゲニステインでは、コラーゲン上に形成される血小板血栓形成を抑制することが報告されている。しかしこれらの血小板血栓形成の初期過程については明らかにされていない。血管内皮細胞が損傷すると、損傷部位からコラーゲンが露出し、血漿タンパク質であるフォンビルブランド因子 (VWF) がコラーゲンに接着する。血小板は細胞膜に存在する VWF 受容体 GPIb α を介して、損傷部位に接着し、活性化する。さらに血小板のコラーゲン受容体 GPVI を介した血小板接着、活性化により安定化血小板血栓を形成する。本研究では血流条件下で固相化されたコラーゲン繊維上に形成されるヒトの血小板血栓、および VWF 接着およびポリフェノールの影響をケルセチン、ルテオリン、ゲニステインを用いて検討した。



2. 実験方法

本研究は新潟医療福祉大学の倫理委員会の承認を受けて実施された。(承認番号: 18619-210601)。健常成人より採血し、ヘパリンにて抗凝固処理を行った。血小板は、濃染顆粒を特異的に染めるメパクリンにて蛍光標識した。ヒトの凍結血漿から、Furlan らのゲル濾過クロマトグラフィー法にて高分子量領域の分画から VWF を精製した。ガラスプレート上には精製した VWF または、I 型コラーゲン繊維をそれぞれ固相化した。全血中に、1, 10, 100 μ M の終濃度で、ケルセチン、ルテオリン、ゲニステインを室温で反応させ、動脈血のずり速度に相当する 1500 s^{-1} でガラスプレート上の各マトリックスにそれぞれ血液を灌流した。VWF およびコラーゲン繊維上に接着した血小板について、蛍光顕微鏡により経時的に観察し、その被覆率を画像解析ソフトウェア ImageJ にて解析した。

3. 実験結果

血液灌流 5 分後のコラーゲン繊維上に形成された血小板血栓の被覆率は、コントロール, 1, 10, 100 μ M のケルセチン存在下では、31.9 \pm 4.7, 28.9 \pm 2.9, 27.6 \pm 2.6, 27.1 \pm 3.9 (%) であり、顕著な濃度依存性は認められなかった ($p < 0.05$)。一方、ルテオリンでは、24.8 \pm 5.2, 20.9 \pm 3.5, 20.2 \pm 1.2, 16.3 \pm 1.4 (%) と、顕著な濃度依存性を認めた ($p < 0.05$)。また、VWF 上に接着する血小板の被覆率については、コントロールと終濃度 100 μ M のケルセチン、ルテオリン、ゲニステインで比較を行った。血液灌流 2 分後の血小板の被覆率はそれぞれ 9.4 \pm 3.4, 6.1 \pm 1.8, 5.9 \pm 4.1, 2.3 \pm 2.6 (%) と、ゲニステインでは血小板の VWF 接着抑制効果が顕著に認められた ($p < 0.05$)。

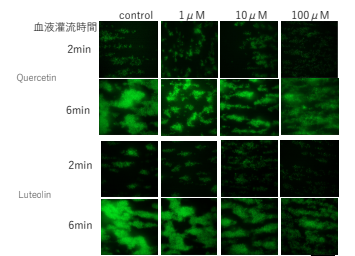


図1: ポリフェノール存在下コラーゲン繊維上に形成された 100 μ m 血小板血栓のイメージ

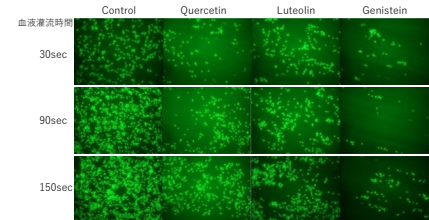


図2: 血流条件下、VWF 上に接着した血小板のイメージ 50 μ m

4. 考察

ケルセチン、ルテオリンでは、いずれも血小板血栓の成長を抑制する傾向が認められたが、水酸基 1 個の構造の違いであるルテオリンの方が、顕著な抑制効果が認められた。その一方、血小板血栓形成の最初の過程である、血小板と VWF への接着について、両者では顕著な接着抑制効果は認められなかったことから、血小板膜タンパク質 GPIb α と VWF の接着以後の各種アゴニストによる活性化に関して影響を及ぼすことが示唆された。また、ゲニステインについては、血小板と VWF との接着を顕著に抑制したことから、GPIb α と VWF の結合部位に直接作用する可能性が示唆された。

5. 結言

ゲニステインは、血小板血栓形成の初期過程である GPIb α と VWF との接着を顕著に抑制した。

PKC α 局在時における Keratin 構造の影響

森岡 真悠*, 佐々木 沙織**, 世良俊博**, 工藤 奨**

*九州大学 大学院システム生命科学府 システム生命科学専攻 [〒819-0395 福岡市西区元岡 744]

**九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門 [〒819-0395 福岡市西区元岡 744]

1. 緒言

日本での死亡原因の第一位はがんであり, 国内におけるがんの罹患者数は 100 万人を超えている. 本研究ではがん関連タンパク質 PKC α (Protein Kinase α)の細胞内移動現象に注目した. PKC α は通常細胞全体に分布している. しかし, 外部から力学的刺激が与えられると細胞間張力が除荷され, 刺激を受けた方向に PKC α が移動・局在することを当研究室の先行研究で報告している^{1, 2)}. 細胞内で PKC α の移動・局在する際に, 局在化に差異があることが判明したが, その要因は不明である. 本研究では, PKC α の局在に差異が生じる要因を明らかにすることを目的とする. PKC α 局在の差を生み出す要因の一つとして, 細胞内骨格である Keratin の構造に着目し, Keratin 構造と PKC α の局在を蛍光顕微鏡で同時観察し解析を行った.

2. 実験方法

ラット表皮ケラチノサイト株細胞(Fetal rat skin keratinocyte Cells : FRSKs)を使用した. コラーゲンコーティングを施したディッシュ上に30~40%のコンフルエント率で細胞を播種した. その後, 温度 37°C, 5%CO₂濃度で一定に保たれたインキュベータ内で培養した.

細胞内 PKC α の可視化のため, 蛍光タンパク質で標識した PKC α -mRFP1 (pcDNA3.1(+)-hPRKCA-RFP_PKC alpha, VectorBuilder), mEmerald-Keratin-17 (mEmerald-Keratin-17, Addgene)を細胞内で発現させた. リポフェクション法により細胞内に遺伝子を導入し, 細胞密度が 100 %のコンフルエントとなるまで 1~2 日静置した.

生細胞の蛍光顕微鏡観には, 落射蛍光倒立顕微鏡 (ECLIPSE TE2000-U, NIKON) と 40 倍油浸レンズ (S-Fluor, NA=1.30, NIKON) と励起光源 (Lamda DG-4, SUTTER INSTRUMENT)を使用した.

PKC α -mRFP1 を観察する際には励起波長 584nm の励起光源を, mEmerald-Keratin-17 を観察する際には

487nm の励起光源を照射し, CCD カメラ (Zyla) で画像を記録した. 細胞のつつき刺激には先端経約 2 μ m のガラス製マイクロピペットを用いた.

3. 実験結果および考察

細胞と細胞が結合する面に対して, Keratin 構造の配向が垂直に近いほど, 局在の反応が強くなり, Keratin 構造の配向が平行に近いほど, 局在の反応が弱くなるという結果が得られた.

PKC α の移動現象で差異が現れる原因は, Keratin 構造の配向が異なるためであると分かった.

4. 結言

本研究によって, Keratin 構造の違いで PKC α の局在に差異が見られた. 力学刺激を与えた細胞に対して垂直に配向している Keratin では PKC α の局在が強く, 平行に配向している Keratin では PKC α の局在が弱いという結果が得られた.

謝 辞

本研究はオートレースの補助を受けて実施しました.

文 献

- 1) Masataka Arai, Tomoya Shimada, Chihiro Kora, Kazuhiro Nakashima, Toshihiro Sera, and Susumu Kudo, Biphasic and directed translocation of protein kinase α inside cultured endothelial cells before migration, *Biochemistry and Biophysics Reports*, 12, 91-97, 2017
- 2) Toshihiro Sera, Masataka Arai, Zhonghua Cui, Koichi Onose, Alireza Karimi, Susumu Kudo, Unloading of intercellular tension induces the directional translocation of PKC α , *Journal of Cellular Physiology*, 11, 2018

細胞微小変形時のモータータンパク質の挙動

尾崎郁美**, 佐々木沙織**, 世良俊博**, 工藤奨**

*九州大学大学院システム生命科学府システム生命科学専攻 [〒819-0395 福岡市西区元岡 744]

**九州大学大学院工学研究院機械工学部門[〒819-0395 福岡市西区元岡 744]

1. 緒言

細胞内タンパク質である Protein Kinase C α (PKC α) はがんの進行と密接に関連することが知られている。当研究室の先行研究で、細胞単体に対してガラス針の押し込みにより、細胞を微小変形させた際、PKC α が微小変形領域に集積する現象が確認された¹⁾。隣接細胞剥離時においても、PKC α が隣接細胞と接する側に集積する現象が確認された²⁾。しかしながら、この集積メカニズムが不明であった。そこで、微小管上で小胞とともに移動するモータータンパク質の一つであるキネシン (正確にはキネシンの重鎖である KIF5B) に着目し、この物質が PKC α の集積現象に関係していると考えた。本研究では細胞単体に対してガラス針の押し込みにより細胞を変形させ、その際の KIF5B と PKC α を蛍光顕微鏡により同時観察を行うことで関係を調べた。

2. 実験方法

2.1 細胞培養・蛍光染色

ウシ大動脈由来血管内皮細胞を用いた。シャーレ上に培養した細胞に、PKC α と KIF5B の可視化のため細胞内に蛍光遺伝子 pPKC α -linker-mRFP1 (VectorBuilder), eGFP-KIF5B (Addgene) を導入し、細胞微小変形の指標とするためにカルシウムインジケータである Fura 2-AM (同仁化学研究所) を 5 μ mol/L に調製して負荷した。

2.2 蛍光観察・細胞微小変形

倒立蛍光顕微鏡 (TE2000-U, Nikon) に 40 倍油浸レンズ (Nikon) を取り付けて観察を行った。マイクロマニピレータにガラス針を取り付け、ゆっくりと針を下げることで任意の細胞を押し込み、微小変形を与えた。

2.3 輝度解析

顕微鏡で撮影した蛍光画像から、細胞微小変形による PKC α と KIF5B のトランスロケーションを解析した。針で押し込んだ部分を中心に直径 2 μ m の円を作成し、円の中の平均蛍光輝度を測定した。さらに、変形を与えた瞬間の輝度を用いて輝度値を正規化し、輝度の経時変化を輝度比としてグラフ化した。

3. 実験結果および考察

細胞微小変形時の PKC α -RFP と KIF5B-GFP の同時観察をおこなった。微小変形領域に最初に PKC α -RFP が集積し、数十秒後に KIF5B-GFP に PKC α -RFP が集積し、同じ領域に集積してくることがわかった。

隣接細胞剥離時においても同様に最初に PKC α -RFP が集積し、数十秒後に KIF5B-GFP に PKC α -RFP が集積し、同じ領域に集積してくることがわかった。

KIF5B が PKC α の集積位置に集積したことから、PKC α の集積現象に KIF5B が関連していることが考えられた。

謝 辞

本研究はオートレースの補助を受けて実施しました。

文 献

- 1) Masataka Arai, Toshihiro Sera, Takumi Hasegawa, Susumu Kudo: Spatial and Temporal Translocation of PKC α in Single Endothelial Cell in Response to Mechanical Stimulus, *Experimental Cell Research*, 367, 205–215, 2018.
- 2) Toshihiro Sera, Masataka Arai, Zhonghua Cui, Koichi Onose, Alireza Karimi, Susumu Kudo: Unloading of intercellular tension induces the directional translocation of PKC α , *Journal of Cellular Physiology*, Volume 234, 9764–9777, 2018.

粘弾性を制御したフードインクによる 全栄養素対応のフード3Dプリント

小田 陽矢, 武政 誠

東京電機大学大学院 理工学研究科 [〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂]

1. 緒言

日本食における「おいしさ」の6割以上は食感が支配している¹⁾。近年注目を集めているフード3Dプリンタでは食感のコントロールや新食感の創出が期待される。食感は食品の内部構造に由来する。フード3Dプリントではペースト状の食材（以下フードインクとする）の空間配置により、従来の食品製造技術では困難であった食品内部の構造を作り込むことで多様な食感を構築可能である。

食感創出に向けた課題として、限られた物性のインクでしか、高精度3Dプリントによる食感設計が実行できない点があげられる。細ノズル径を利用する3Dプリントではインクを押し出す際にインクの粘弾性特性の制約を受ける。また、プリント後は保形性を確保可能な高弾性率インクがのぞまれる。

本研究では、多様な食感創出に向けて、多様なインクで高精度3Dプリントを実現するレオロジー特性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

タンパク質、脂質、炭水化物をそれぞれベース材料とした試料にセルロース粉末を添加することでフードインクとして調整し、レオロジー測定および3Dプリントを行った。3Dスキャンで実測した造形物の形状を元データとなる3Dモデル形状と比較し、体積の過分または不足分から算出したフード3Dプリント精度とレオロジー特性の関連性を検討した。

3. 実験結果と考察

プリント精度は定常ずり粘度 η 及び貯蔵弾性率 G' により支配されることが示唆された(Fig.1)。吐出可能な範囲であれば、高弾性率、粘性率インクの方が、造形後の形状が維持され、高精度が達成された、と考えられる。低粘度低弾性率インクではプリントしたインクが扁平化し、高粘度高弾性率インクでは吐出が断続的になったことでモデル形状を再現できずにプリント精度が低下したと考えられる。造形精度(不足分)に対する G' の影響について、脂質インクのみ他のインクと異なる挙動を示した。

添加セルロース濃度に応じてフード3Dプリント精度が大きく変化し、栄養成分の分子量や濃度

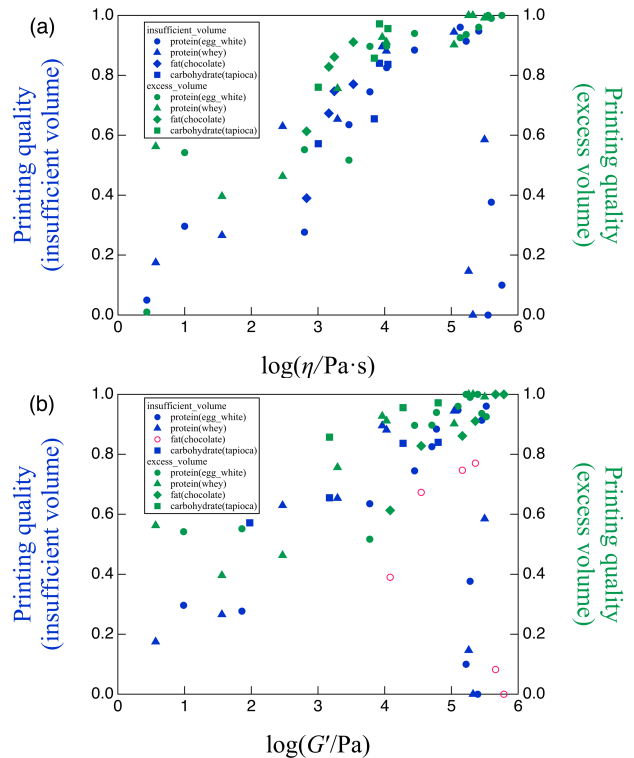


Fig.1 Effect of rheological properties, (a) steady shear viscosity (b) storage modulus, on printing quality (excess or insufficient volume).

に依存せずにプリント精度を支配した。一般に、不溶性微粒子の体積分率が増加すると、粒子間の相互作用に起因して、粒子懸濁液の弾性および粘性率が增加することが知られており²⁾、水には不溶であるセルロース懸濁フードインクにおいても、この機構がフードプリント精度の向上に重要であったと考えられる。

4. 結言

本研究では、 $G' \ll G''$ であるフードインクにセルロース粉末を添加することで3Dプリントの高精度化を実現した。食品栄養成分を問わずに高精度プリントを可能にするインクのレオロジー特性を明らかにした。これは、従来よりも幅広い食材、低分子から高分子まで可食材料を高精度プリント可能なフードインク化する基盤技術となった。今後、多様な食品形状をプリント可能、さらには食感制御幅拡大、新しい食感の創出が期待される。

文献

- 1) 松本仲子, 松元文子, 調理科学, 10, 97, 1977.
- 2) D, G. Thomas, *J. Colloid Sci.*, 20, 267-277, 1965.

微小正方形管内流れ中のヒドロゲル粒子の断面内分布

西山朋宏*, 佐井一総*, 湊遥香**, 鈴木大介**, 板野智昭*, 関眞佐子*.*.*.*

*関西大学システム理工学部物理・応用物理学科[〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35]

信州大学学術研究院繊維学系 *大阪大学基礎工学研究科

1. 緒言

管内流れに浮遊する粒子が、慣性に起因する揚力を受けて下流断面内の特定の位置に集束して通過する現象は慣性集束現象と呼ばれる。粒子の集束位置は粒子の大きさや物性などに依存して変化するため、この現象を血球等の生体細胞の検知・選別に応用するマイクロ流体分野の研究が現在世界中で活発に行われている。細胞は一般に変形性をもつため、細胞を浮遊粒子とする場合には慣性による揚力に加えて、粒子変形性による揚力がはたらくが、その詳細は不明である。

本研究は、浮遊粒子の変形性が慣性集束現象に与える影響を調べる目的で、変形性をもつヒドロゲル粒子を微小正方形管に流し、管入口から様々な距離の断面における粒子分布を計測した。剛体球粒子や赤血球を浮遊粒子とした場合の粒子分布¹⁾と比較することにより、浮遊粒子の変形性が粒子分布に与える影響を検討した。

2. 実験方法

本実験で使用したヒドロゲル粒子は Minato et al.²⁾ に報告した手法で作製した。主骨格は N-イソプロピルアクリルアミド、架橋剤は N,N'-メチレンビスアクリルアミド、アクリル酸である。架橋度 1mol% の粒子径は $d=5.157\mu\text{m}$ 、架橋度 3mol% の粒子径は $d=4.255\mu\text{m}$ であり、それぞれ粒子 5、粒子 4 と呼ぶ。原子間力顕微鏡による計測では類似のヒドロゲル粒子に対しヤング率が $Y=18\text{k}\sim 211\text{kPa}$ との報告がある³⁾。

ヒドロゲル粒子をグリセリン水溶液(22°Cにおいて、密度 $\rho = 1.05 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 、粘度 $\mu = 1.72\text{mPa}\cdot\text{s}$) に体積分率 0.003–0.01% で希薄に浮遊させ、管幅 $D=50\mu\text{m}$ 、長さ $L=25\text{--}600\text{mm}$ の微小正方形管に、シリッジポンプを用いて一定の流量で流した。管出口から 1–2mm 上流の断面を、50 倍対物体レンズとハイパスフィルタをつけたイメージ・インテンシファイア内蔵高速度カメラを用いて正面から撮影した。撮影速度は流速に応じて 250–2000fps である。撮影した画像を解析ソフト ImageJ に取り込み、粒子の重心座標を求め、300 個程度の粒子重心位置を重ねることにより管断面内分布図を作成した。

3. 実験結果と考察

管長 $L=600\text{mm}$ の管出口付近で得られたヒドロゲル粒子 5, 4 の断面内分布をそれぞれ図 1(a)(b) に示す。平均流速 U 、管幅 D を用いて、レイノルズ数を $Re = \rho UD/\mu$ と定義した。低 Re 数($Re=0.1$) の場合、いずれの粒子も管中央に集まり、赤血球と同様に軸集中が見られる。 Re 数が少し大きくなる ($Re=1$) と、中央に加えて、小さな環状に粒子が集まっている。 $Re=10$ では、(a) に示すヒドロゲル粒子 5 の場合対角線上の 4 点(対角平衡点)付近に集まっているのが分かる。(b) に示す、ヒドロゲル粒子 4 では粒子はほぼ環状に分布しているが、図 1(c) に示す PDF より、対角線付近の粒子個数密度が高いことが確認される。 $Re\sim 10$ において、同径の剛体粒子の場合は断面各辺の中央付近の 4 点(面心平衡点)に集中するのに対し、赤血球は対角平衡点への集束が観察される¹⁾ ことから、対角平衡点への粒子集中は粒子の変形性によるものと考えられる。

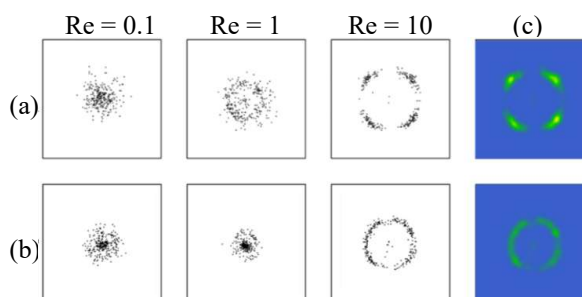


図 1 ヒドロゲル粒子の管断面内分布。(a) 粒子 5、(b) 粒子 4、(c) 確率密度関数($Re=10$), $L=600\text{mm}$ 。

4. 結言

正方形管内流れ中のヒドロゲル粒子の管断面内分布を計測し、粒子変形性の影響を調べた。

謝 辞

本研究の一部は科研費(20H02072)の助成を受けた。

文 献

- 1) Tanaka, S. and Sugihara-Seki, M.: JPSJ 91, 083401, 2022.
- 2) Minato, H., Murai, M., Watanabe, T., Matsui, S., Takizawa, M., Kureha, T. and Suzuki, D.: Chem. Commun. 54, 932, 2018.
- 3) Banquy, X., Suarez, F., Argaw, A., Rabanel, J.-M., Grutter, P., Bouchard, J.-F., Hildgen, P. and Giasson S.: Soft Matter 5, 3984, 2009.

腸骨動脈の血行動態を模擬する試験装置を用いた 塞栓プラグの血栓塞栓性能の評価

名切将人*, 玄如弁*, 今井伸哉**, 服部薫**, 岩崎清隆*, **, ***

*早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻 [〒162-8480 東京都新宿区若松町 2-2]

**早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻

***早稲田大学創造理工学部総合機械工学科

1. 緒言

塞栓プラグは、ニッケル・チタン合金製のメッシュワイヤーを円筒型に形成した自己拡張型の血管塞栓術用デバイスで、動脈瘤や動静脈奇形の治療に用いられる。塞栓プラグの開発段階において、その性能評価を動物実験で行うことは時として非効率的であり、動物実験に代わる非臨床評価試験系の開発が求められる。

本研究では、対象血管の中でもプラグの適用数が多い腸骨動脈の流量・圧力の循環環境を創出する血液循環試験装置を開発し、塞栓プラグの血栓塞栓性能の評価を行った。

2. 実験方法

弾性管、拍動ポンプ、末梢抵抗、シリコン製血管モデルなどから構成される大気非接触小型拍動循環回路を開発した。(図1) 創出した流量は、総腸骨動脈 300 (1000/-300) mL/min, 外腸骨動脈 200 (700/-200) mL/min, 内腸骨動脈 100 (500/-150) mL/min であり、圧力は、100 (120/80) mmHg とした。

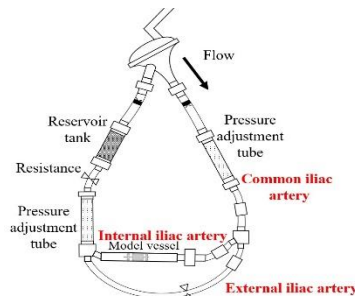


Fig. 1 Pulsatile flow test system

血液ドナーから書面にて同意を得たのち、医師によって採血が行われた。なお本研究は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会事務局に承認を得て行った(ヒト倫理申請番号: 2021-222)。採血した血液にヘパリンを添加してACTが 170 ± 10 secとなるよう調整し、回路に充填した。拍動ポンプを作動させ、 37°C に保った恒温槽に入れ、循環を開始した。

測定項目として、内腸骨動脈の流量変化・塞栓時間、塞栓プラグの移動距離を測定した。評価対象のプラグは、AVPII (Abbott Vascular, ワイヤ

本数 288 本) と開発品であるプラグ A (ワイヤー本数 384 本) とした。

3. 実験結果

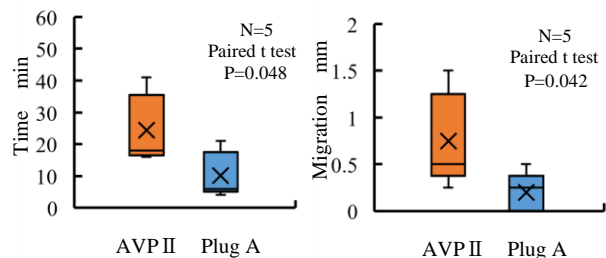


Fig. 2 Embolization time

Fig. 3 Maximum migration

血栓塞栓化までの時間は、AVPIIで平均 24.4 ± 10.9 min, プラグ A で 10.2 ± 7.4 min となり、プラグ A で有意に短かった($P=0.048$)。また、プラグの最大移動量は、AVPIIで平均 0.75 ± 0.50 mm, プラグ A で 0.20 ± 0.21 mm となり、プラグ A で小さかった($P=0.042$)。さらに、MicroCT にて血管モデルに留置された塞栓プラグの断面を撮像したところ、プラグ A は血管モデル内壁に各ワイヤーが点接触して留置されており、AVPIIと比べて血管壁との接触面積が大きかった。

4. 考察

ワイヤー本数の多いプラグ A は AVPII と比べて血栓塞栓化に要する時間が短く、より高密度に編まれたワイヤーによってプラグ内の血流の停滞が促進されたためと考えられた。また、プラグ A では塞栓前後でのプラグの移動距離が小さく、プラグと血管内壁の接触面積の増加によるものと考えられた。

5. 結言

塞栓プラグにおけるワイヤー本数の増加は、プラグの血栓塞栓化時間、プラグの移動距離を短縮させる。ワイヤー本数を多くすることは、塞栓プラグの有効性・安全性のいずれにおいても有効であることが実験的に示された。

編集後記

兵庫県立大学姫路環境人間キャンパスで開催いたします第46回日本バイオレオロジー学会年会に多くの皆様にご参加下さることに深く感謝申し上げます。この度の年会では、昨年に引き続き現地対面での開催となり、コロナ禍以前のように顔を合わせてのコミュニケーションでの学会が開催できるようになりましたこと喜ばしいことと存じます。

第46回年会では、一般口頭発表 34題、学会奨励賞発表 6題、優秀ポスター賞発表 8題、一般ポスター発表 8題の合計 56題の抄録をご登録いただきました。また、同日には第44回バイオレオロジー・リサーチ・フォーラム「嚥下の科学-高齢社会における誤嚥予防と嚥下評価-」、交流会の開催を皆様のご協力により企画できました。

皆様が活発な発表、討論と様々な分野の方々との交流ができますよう実行委員一同努めたいと思いますので、どうぞ宜しくお願いします。また、姫路市には世界文化遺産、国宝姫路城がございます。会場からも近く、学会間にはぜひ姫路をお楽しみください。

最後に、第46回学会年会開催にあたり、後藤信哉理事長をはじめ理事・評議員・セッションオーガナイザー、そしてスタッフの皆様にお世話になりましたことに感謝申し上げます。

(吉村美紀)

編集委員会

編集委員長	西田 正浩			
編集委員	市川 寿	喜多 理王	坂元 尚哉	庄島 正明
	田地川 勉	一杉 正仁	望月 精一	山田 宏
特別編集委員	吉村 美紀	島田 良子		

日本バイオレオロジー学会誌 (B & R, 電子版) 第37巻 第2号

2023年5月19日発行

編集者 西田 正浩

発行者 後藤 信哉

特定非営利活動法人 日本バイオレオロジー学会・事務局

〒259-1193 神奈川県伊勢原市下糟屋 143

東海大学医学部内科学系循環器内科学 後藤教授室内

TEL 0463-93-1121 (内線 2227)

FAX 0463-93-6679

E-MAIL office@biorheology.jp

© copyrighted 2023, by Japanese Society of Biorheology
