

技 報

こまくさ

K O M A K U S A 発行:平成20年8月

第七号

Thick SmCos film on Ru/Cu/Ru underlayer
with perpendicular magnetic anisotropy

— 情報工学科 武井 重人

カオリナイトへの陰イオン交換性の
付与と光機能化

— 物質工学科 岡田 友彦

地球温暖化防止のための金属廃棄薄板の
新しいリサイクルプロセスの提案

— 環境機能工学科 高野 拓樹

知識共有を目的としたドキュメント操作のための
協調プラットフォーム

— 情報工学科 香山 瑞恵



信州大学
SHINSHU UNIVERSITY

目 次

技報「こまくさ」第7号の発刊にあたって				1
Thick SmCo ₅ film on Ru/Cu/Ru underlayer with perpendicular magnetic anisotropy	情報工学科	武井 重人	3	
カオリナイトへの陰イオン交換性の付与と光機能化	物質工学科	岡田 友彦	7	
地球温暖化防止のための金属廃棄薄板の新しいリサイクルプロセスの提案	環境機能工学科	高野 拓樹	13	
知識共有を目的としたドキュメント操作のための協調プラットフォーム	情報工学科	香山 瑞恵	19	
研究助成受領者名簿				30

「技報こまくさ」第7号発刊に寄せて

信州大学名誉教授
(財)信州大学工学部若里会
副理事長 小沼 義治

「技報こまくさ」第7号を発行する運びとなり、原稿執筆、編集に関係された各位に感謝申し上げます。

本「技報こまくさ」は、財団法人若里会設立の目的の一つである「工学を基礎とした幅広い産業と文化の振興・発展に寄与する」ため、技術情報誌の発行を行い、産業振興に貢献するものであります。

昨今、地球温暖化がクローズアップされ、二酸化炭素削減が叫ばれる中、原油高に起因する諸物価の高騰、穀物等のバイオエネルギーへの転用による食料不足問題、景気後退など社会・経済を取り巻く環境は大変厳しくなって来ております。

又、大学におきましても、法人化後の、教育・研究環境は、競争渦の中にあつて、研究資金面でも、年々益々厳しくなり、特に若手研究者にとっては、研究機会を狭められ、本来の目的である真理の探究と科学技術の発展に寄与することが非常に難しくなって来て居ります。

本財団として、大学の教育・研究に携わる若手教官を対象として、教育・研究活動を支援するために平成7年度より、研究助成を開始して居ります。本「技報こまくさ」は、若手研究者が昨年度、本財団より助成を受け、国内外の国際会議等の第一線で発表された論文をここに纏めたものであります。その内容に於きましては、多岐に亘る分野が含まれ、又、将来的に大きく花開く論文が掲載されて居りますので、大所高所から広くご意見を頂ければ幸いです。

この技報の配布先は、産学官を含め各市町村、長野県内の高校であり、産学官の共同研究、技術振興、教育・進路指導等に役立てて頂き、財団の趣旨が生かされることを念願致して居ります。

Thick SmCo₅ film on Ru/Cu/Ru underlayer with perpendicular magnetic anisotropy

氏名 武井重人, 嘉藤 勇, 劉 小晰, 森迫昭光

所属 信州大学工学部情報工学科

発表会議名：先端磁性材料と応用に関するシンポジウム (ISAMMA2007)

開催年月：2007年5月28日～6月1日

開催場所：大韓民国 チェジュ島

In order to fabricate thick SmCo₅ film, the dependences of the magnetic properties of SmCo/Ru/Cu/Ru films and its multilayer films on the SmCo layer thickness were studied. The SmCo/Ru/Cu/Ru film with the SmCo layer thickness up to 200 nm showed the perpendicular magnetic anisotropy while the multilayer film with the total SmCo layer thickness of 1000 nm indicated the magnetic easy axis was in the perpendicular direction. It was found that the multilayered structure is preferable for the increase in total thickness of the SmCo layer with the perpendicular anisotropy.

1 Introduction

SmCo₅ alloy is a well-known material as a permanent magnet with the high uniaxial magneto-crystalline anisotropy larger than 10^8 erg/cm³. Therefore the SmCo₅ film has many potential applications such as magnetic recording medium, MEMS, and so on. Authors have focused on controlling the crystal orientation of SmCo film so far [1] and prepared the SmCo₅ film with the perpendicular magnetic anisotropy by using the Cu underlayer with 200 nm [2]. The almost similar result was reported by J. Sayama at almost the same time [3]. Important findings in our study were the Cu underlayer played an essential role in imparting to the perpendicular magnetic anisotropy to the film and the SmCo₅ layer with (001) plane grew on the Cu underlayer with (111) plane [4]. Recently our study revealed the Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm) tri-layer was comparable to the Cu underlayer with 200 nm [5]. In these studies, the thickness of SmCo₅ layer was thinner than 20 nm for the aim of applying the film to the perpendicular recording medium. On the other hands, for the use of magneto-electronics devices, a thick SmCo film on the order of micro meters is necessary. Therefore the dependence of the magnetic properties on the SmCo layer thickness was studied in this study. In addition, (SmCo₅/Ru/Cu/Ru)_n multilayer films were also prepared and investigated their magnetic properties.

2 Experimental procedures

Films were prepared continuously so as not to expose them to air by a complex sputtering system. Cu layers and Ru layers were prepared with a facing targets sputtering and a DC magnetron sputtering, respectively, without substrate heating (below 40 °C). SmCo layers were prepared at 350 °C with a DC magnetron sputtering. The SmCo target was a composite type with Sm plates of 10×10 mm² on a Co disk. The number of Sm plates and their positions on the Co disk were adjusted to obtain about 17 at.% in the film which is almost the same value in the stoichiometric SmCo₅ alloy. SmCo₅ layers ranged from 10 nm to 5 μm were prepared onto Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm) films. The multilayer films were based on the unit structure of SmCo₅ (100 nm)/Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm), and the total thicknesses of the SmCo₅ layers were varied from 100 nm to 1000 nm.

3 Results and discussions

3.1 SmCo_5/Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm) films

Figure 1 shows the XRD diagrams of the $\text{SmCo}_5/\text{Ru}/\text{Cu}/\text{Ru}$ films with various SmCo layer thicknesses. A broad diffraction line around 43 deg. in each diagram comes from the Cu (111) and the Ru (002) planes, which was also observed in our previous study [5]. When the thickness of the SmCo layer is thinner than 30 nm, the diffraction lines from SmCo_5 (00 l) planes are observed at the 2 theta of about 23 deg. and 45 deg., implying the SmCo layer is (00 l) oriented structure and the magnetic easy axis is in the perpendicular direction. When the thickness of the SmCo layer is in range from 40 to 200 nm, two diffraction lines are observed at the position of 45 deg. and the lines which have a shoulder on the right side are observed at about 23 deg., simultaneously. It is believed that these peaks come from the SmCo_5 (00 l) planes since each value of the lattice spacing of two lines observed at about 45 deg. was almost half of that of the line and its shoulder at about 23 deg. Possible cause is that when the SmCo layer thickness is thin, especially, the Ru interlayer with (002) plane expands the interatomic distance in SmCo_5 unit cell, of which the effect decreases gradually with the increase of the SmCo layer. When the thickness of the SmCo layer is thicker than 500 nm, various lines from SmCo_5 alloy are observed in the XRD diagram. The average grain size calculated from the line of SmCo_5 (002) plane using Scherer's equation increased slightly from about 10 to 30 nm with the increase of the SmCo thickness from 10 to 5000 nm.

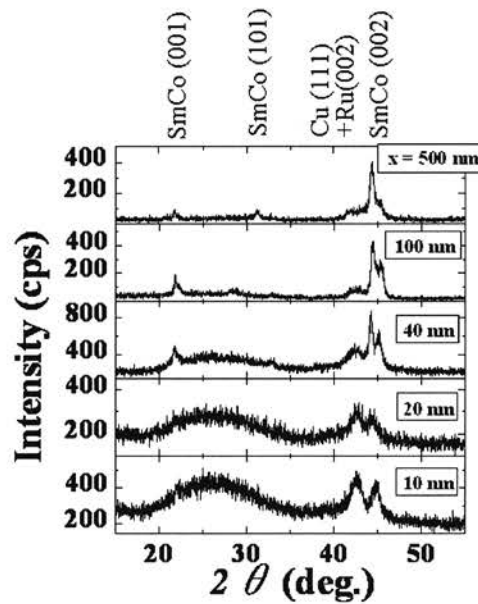


Fig. 1 XRD diagrams of the $\text{SmCo}/\text{Ru}/\text{Cu}/\text{Ru}$ films with various SmCo layer thicknesses.

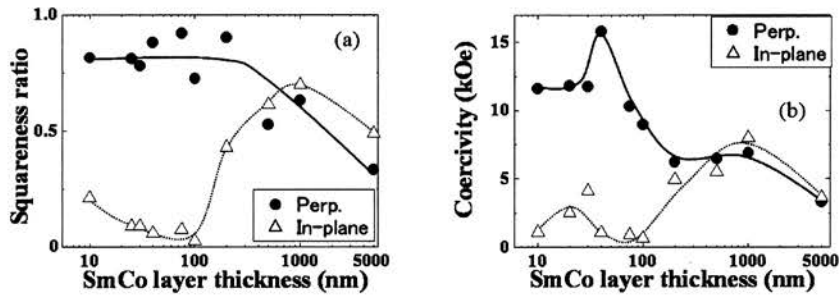


Fig. 2 Dependences of (a) remanent squareness ratio and (b) coercivity on SmCo layer thickness.

The magnetic properties were measured with a vibrating sample magnetometer with the maximum applied field of 24 kOe. Figure 2 shows the dependences of the remanent squareness ratio and the coercivity on the SmCo layer thickness, respectively. The applied field was not sufficient to saturate the samples and the magnetizations in the magnetic easy axis at the maximum field were in the vicinity of 400 to 500 emu/cm³. When the thickness of the SmCo layer is thinner than 200 nm, the squareness ratio and the coercivity in the perpendicular direction are larger than those in the in-plane direction, which correspond to the XRD diagrams shown in Fig.1. When the thickness is thicker than 500 nm, the squareness ratio in the perpendicular direction is almost the same as that in the in-plane direction. This result suggests that the critical thickness of the film with the perpendicular magnetic anisotropy is 200 nm in this study.

3.2 (SmCo₅ (100 nm)/Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm))_n multilayer film

It was found that fabricating a thick SmCo layer with the perpendicular magnetic anisotropy was difficult. Therefore we attempted to prepare (SmCo₅/Ru/Cu/Ru)_n multilayer films, since there are lots of reports, such as the reference [6], that the multilayer structure suppresses not only the columnar structure but also the grain size and promotes the crystal orientation. From the result shown in Fig. 2, the thickness of the SmCo layer was determined to be 100 nm. The cross sectional SEM image showed that the Ru/Cu/Ru tri-layer separated SmCo layers clearly. The XRD diagrams of the films with the total SmCo layer thickness thinner than 600 nm showed the single diffraction lines from SmCo₅ (00 l) planes while the diagram of the multilayer film with the total SmCo layer thickness of 1000 nm was resemble to that of the SmCo₅ (500 nm)/Ru/Cu/Ru film as shown in Fig. 1, indicating the film was the (00 l) preferred-oriented structure. The average grain size calculated from SmCo₅ (002) plane was about 13 nm regardless of the total SmCo layer thickness.

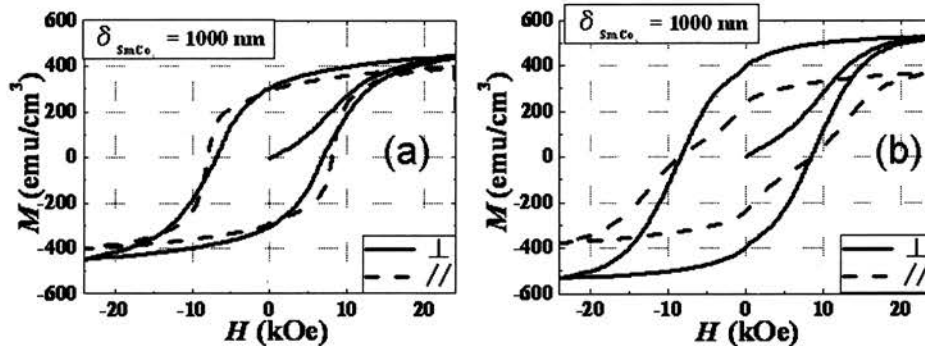


Fig. 3 Hysteresis loops of (a) SmCo (1000 nm)/Ru/Cu/Ru film and (b) (SmCo (100 nm)/Ru/Cu/Ru)₁₀ multilayer film.

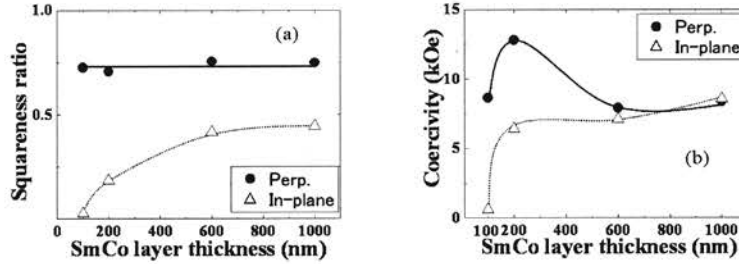


Fig. 4 Dependences of (a) remanent squareness ratio and (b) coercivity of the multilayer film on SmCo layer thickness.

Figure 3 shows the hysteresis loops of (a) the SmCo₅ (1000 nm)/Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm) film and (b) (SmCo₅ (100 nm)/Ru (5 nm)/Cu (5 nm)/Ru (5 nm))₁₀ multilayer film. The shape of the hysteresis loop of the multilayer film is different from that of the SmCo₅ (1000 nm)/Ru/Cu/Ru film, especially for the remanent magnetizations. Figure 4 shows the dependences of the remanent squareness ratio and the coercivity on the total SmCo layer thickness. The squareness ratio in the perpendicular direction of about 0.75 is little dependence on the SmCo layer thickness while that in the in-plane direction increases with the total thickness. It implies that the degree of the crystal orientation in the SmCo layer decreases with the increase of the number of the multilayer. The coercivity in the perpendicular direction was almost the same value as that in the in-plane direction when the total SmCo layer thickness is thicker than 600 nm. The maximum energy product, $(BH)_{\max}$ of the multilayer film with the total SmCo layer thickness of 1000 nm was about 4.6 MGOe, which was larger than that of the SmCo₅ (1000 nm)/Ru/Cu/Ru film of 2.8 MGOe. This result indicates that the multilayer structure is advantageous to prepare the thick SmCo₅ film with the perpendicular magnetic anisotropy. The reason the multilayer structure is superior for preparing the thick film seems to be in suppressing the increase of the grain size and the growth of columnar structure influences. To clarify the crystal structure, it is necessary to observe the cross section of the film by using a TEM.

4 Conclusions

In this study, the dependence of the magnetic properties of the SmCo/Ru/Cu/Ru film on the SmCo layer thickness was studied. It was found that the film with the SmCo layer thickness up to 200 nm showed the perpendicular magnetic anisotropy. In addition, it was clarified that the multilayered structure was important for the increase in total thickness of the SmCo layer with the perpendicular anisotropy. The SmCo₅ (100 nm)/Ru/Cu/Ru multilayer film with total SmCo layer thickness of 1000 nm exhibited the perpendicular magnetic anisotropy and the $(BH)_{\max}$ was about 4.6 MGOe.

References

- [1] S. Takei, A. Morisako, and M. Matsumoto, *J. Appl. Phys.* **93**, 7762 (2003).
- [2] S. Takei, A. Morisako, and M. Matsumoto, *J. Magn. Magn. Mat.* **272-276**, 1703 (2004).
- [3] J. Sayama, T. Asahi, K. Mizutani, and T. Osaka, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **37**, L1 (2004).
- [4] S. Takei, T. Uemizu, A. Morisako, and M. Matsumoto, *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.* **29**[4], 1619 (2004).
- [5] I. Kato, S. Takei, X. Liu, and A. Morisako *IEEE Trans. Magn.* **42**, 2366 (2003).
- [6] S. H. Kong, T. Okamoto, and S. Nakagawa, *IEEE Trans. Magn.* **39**, 2338 (2003).

カオリナイトへの陰イオン交換性の付与と光機能化

Impairment of anion exchange ability to kaolinite and its photofunctionalization

岡田友彦 (信州大学工学部)

田中祐介 (早稲田大学理工学研究科), 小川誠 (早稲田大学教育学部)

2007 年欧州粘土グループ連合会議

2007 年 7 月 22 日～27 日

ポルトガル共和国 アヴェイロ大学

要旨

カオリナイトに陰イオン交換能を付与することを目的として、カオリナイトの有機修飾を行いその吸着特性について検討した。2-アミノエタノールで修飾したカオリナイトを塩酸、1,4-ジオキサン混合溶液中で攪拌し、2-アミノエタノール塩酸塩 - カオリナイトの合成を試みた。また、得られた層間化合物にテトラフェニルポルフィリンテトラスルホン酸(以下 TPPS と略す)の吸着を試みた。塩酸 1,4-ジオキサン混合溶液中で反応した試料の XRD パターンでは 1.27 nm に新たな回折ピークが見られ、基本面間隔が増大した。この増大は塩素原子直径と対応していた。FT-IR スペクトルでは $\nu(-\text{NH}_3^+)$ に帰属される吸収帯が見られたことから、層間の 2-アミノエタノールが塩酸塩化したことが示された。この層間化合物は N,N-ジメチルホルムアミド中から TPPS を吸着し、飽和吸着量は $0.28 \text{ mmol} \cdot (\text{g kaolinite})^{-1}$ であった。可視吸収スペクトルなどから層間の TPPS は、少なくとも 2 種類の凝集状態で存在していることが示唆された。これらのことから、層間の 2-アミノエタノールを塩酸塩化することによって、陰イオン性の色素を取り込めることがわかった。

1. はじめに

層状ケイ酸塩への光機能種の固定について、光機能の制御を目的に幅広く研究されている。¹⁾ 層状ケイ酸塩の中で、スメクタイトと呼ばれる一群の粘土鉱物は、その層間に様々な陽イオン性色素をイオン交換反応によって取り込むことが可能である。²⁾ 結果得られる層間化合物は、1 nm の厚みをもつシリケート層 (アルミニウムなどを中心とする水酸化物の八面体シートが、ケイ素を中心とする四面体のシートによって挟まれている) の表面に色素 (または色素集合体) が吸着され、これを構造単位として積層した構造をとるという特徴をもつ。用いる色素の

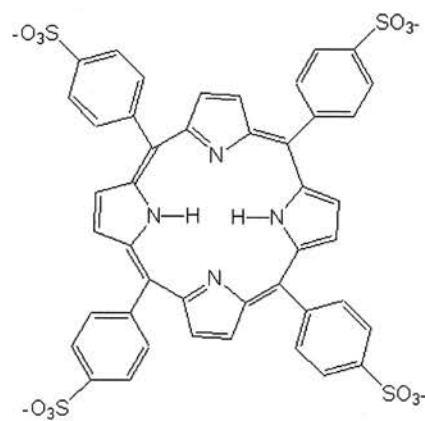
分子構造などによって層間化合物の光物性は異なるため、これまでにスメクタイトを宿主物質としてその光機能について幅広く研究されている。³⁾

一方、カオリナイトの層間は四面体シートの底面酸素と八面体シートのアルミノールから構成された非対称な層間構造をしており、また電荷を持たず、その層間は水素結合により強く結びついていることから取り込むことのできる分子は限られている。⁴⁾ 取り込むことのできる分子は、尿素⁵⁾、ホルムアミド⁶⁾、ジメチルスルフォキシド⁷⁾等、大きな双極子モーメントを持つものである。そのためカオリナイト層間へ色素分子を取り込むことは困難とされている。⁸⁾ しかしながら、カオリナイトの特異な非対称構造と色素の集合構造とのハイブリッド化によって、従来みられなかった機能の発現が期待できる。本研究では、カオリナイト層間を有機修飾し、陰イオン交換能を付与することによって、カオリナイト層間への陰イオン性色素の取り込みを試みた。

2. 実験方法

カオリナイトは日本粘土学会参考試料(栃木県, 関白産)を用いた。テトラフェニルポルフィリンテトラスルホン酸 (TPPS: スキーム) ($C_{44}H_{30}N_4O_{12}S_4$) は東京化成工業株式会社製を用いた。

カオリナイトにジメチルスルフォキシド (DMSO) 水溶液を加え、密閉容器中で 120 時間静置した。その後、遠心分離, 1,4-ジオキササンで洗浄, 減圧乾燥することで DMSO-カオリナイト層間化合物を得た。⁷⁾ この層間化合物に 2-アミノエタノールを加え、窒素雰囲気下で一晩還流し, 自然冷却後, 遠心分離, 1,4-ジオキササンで洗浄, 減圧乾燥し 2-アミノエタノール層間化合物を得た。⁹⁾ この 2-アミノエタノール-カオリナイト層間化合物に塩酸 1,4-ジオキササン溶液加え一晩攪拌, 減圧乾燥し試料を得た。試料について, XRD, IR, TG-DTA から塩酸塩化の評価を行った。



スキーム テトラフェニルポルフィリンテトラスルホン酸の分子構造

TPPS DMF 溶液にそれぞれ塩酸塩化後の試料を加え, 一晩攪拌した。その後,

遠心分離, DMF にて洗浄, 減圧乾燥し試料を得た. TPPS の吸着量は塩酸塩化後の試料を加えない同濃度 TPPS DMF 溶液をブランクとして用意し, 反応後の上澄みとブランクに含まれる TPPS 量差から求めた. TPPS の吸着について可視吸収スペクトルなどにより評価した.

3. 結果および考察

3-1. アミノエタノール (AEO) 塩酸塩—カオリナイトの合成

DMSO-カオリナイト層間化合物と AEO との反応によって得られた試料の XRD パターン(Fig. 1)では, DMSO-カオリナイト層間化合物の回折ピークは消失し, 未反応のカオリナイトに帰属される回折ピーク ($d = 0.71 \text{ nm}$) に加えて $d = 1.07 \text{ nm}$ に新たな回折ピークが見られた. FT-IR スペクトルでは $3628, 3558, \text{cm}^{-1}$ に新たな $\nu(\text{O-H})$ が見られ, $3354, 3311 \text{cm}^{-1}$ に $\nu(\text{N-H})$, $3074, 2964, 2946, 2889 \text{cm}^{-1}$ に $\nu(\text{C-H})$, 1614cm^{-1} に $\delta(\text{N-H})$, 1476cm^{-1} に $\delta(-\text{CH}_2-)$, 974cm^{-1} に $\delta(\text{Al-OH})$ に起因する新たな吸収帯が見られた. これらの値は Tunney and Detellier によって報告されているもの⁹⁾と一致し, AEO - カオリナイト層間化合物の合成が示された. この試料 TG-DTA 曲線では $200 \text{ }^\circ\text{C}$ を外挿開始点とする吸熱ピークが見られ, $400 \text{ }^\circ\text{C}$ までに 7.1% の重量減少が見られた. これらの重量減少は AEO の酸化分解に起因すると考えられ, この重量減少から算出した組成は $(\text{C}_2\text{H}_7\text{NO})_{0.5}\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ となった.

AEO - カオリナイトと塩酸との反応後の XRD パターン(Fig. 1)では, $d = 1.27 \text{ nm}$ に新たな回折ピークがみられた. 反応によるこの d 値の増大 ($0.20 \text{ nm} = 1.27 - 1.07 \text{ nm}$) は塩素イオン直径 (0.18 nm) と対応した. また, AEO - カオリナイトに帰属される回折ピークの残存が見られたが, この回折ピークは塩酸との反応を繰り返し行うことで消失した. FT-IR スペクトルでは 3601cm^{-1} に新たな $\nu(\text{OH})$ が見られ, $\nu(\text{N-H}^+)$ が 3080cm^{-1} 付近に見られた. また, AEO - カ

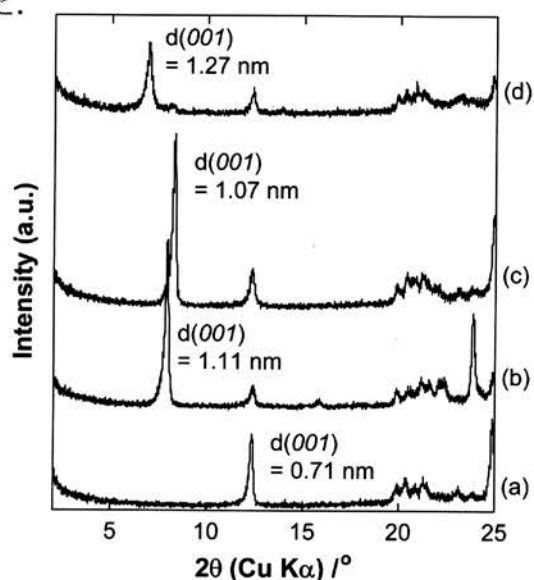


Fig. 1. XRD パターン
(a) kaolinite, (b) DMSO-kaolinite,
(c) AEO-kaolinite, (d)
AEOCl-kaolinite

オリナイトでみられた δ (-NH) の吸収帯が消失し、 1490 cm^{-1} に δ (N-H⁺) の吸収帯が現れた。これらの結果から、塩酸塩化した AEO - カオリナイト層間化合物の生成が示唆された。更に、TG-DTA から、塩酸塩化した AEO に対応する重量減少値が 11 % であり、塩酸処理による AEO の脱着はなかったと推測した。

3-2. アミノエタノール塩酸塩(AEOCl)―カオリナイトへの TPPS の吸着

得られた試料は緑色であった。これらの試料 (TPPS_{0.15}-カオリナイト, TPPS_{0.23}-カオリナイト) の吸着量はそれぞれ $0.15\text{ mmol} / (\text{g} \cdot \text{AEOCl-カオリナイト})^{-1}$, $0.23\text{ mmol} / (\text{g} \cdot \text{AEOCl-カオリナイト})^{-1}$ であった。TPPS の AEOCl-カオリナイトへの吸着等温線を Fig. 2 に示す。有機修飾をしていないカオリナイトを用いた場合、TPPS は吸着されなかったのに対し、AEOCl-カオリナイトを用いた場合、吸着等温線では鋭い立ち上がりが見られ、TPPS と AEOCl-カオリナイトの間に強い相互作用があることが示された。TPPS 吸着後の試料の XRD パターンを Fig. 3 に示す。両試料とも $d = 1.27\text{ nm}$ に回折ピークが見られ、AEOCl-カオリナイトの残存が示唆された。また、 1.23 nm に新たな回折ピークが見られ、TPPS の層間への導入が示唆された。

FT-IR スペクトルでは TPPS に帰属される吸収帯に加え、 ν (N-H⁺) が 3080 cm^{-1} 付近、また、 1490 cm^{-1} に δ (N-H⁺) が見られたことから、AEO は TPPS 吸着後もアンモニウムの状態であることが示唆された。

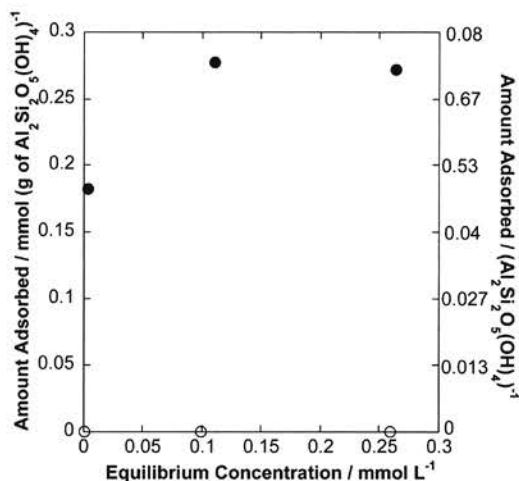


Fig. 2 TPPS の DMF 溶液からの吸着等温線 : (○) kaolinite, (●) AEOCl-kaolinite,

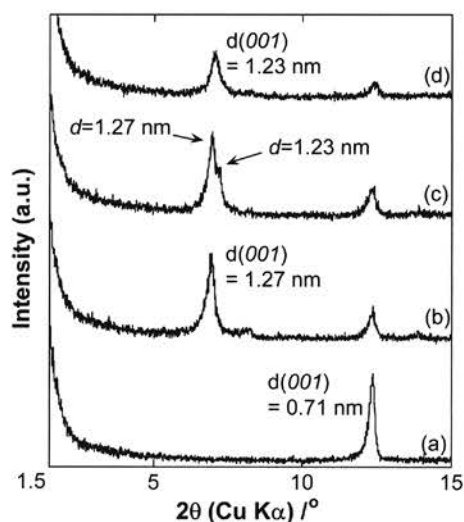


Fig. 3 XRD パターン : (a) kaolinite, (b) AEOCl-kaolinite, (c) TPPS_{0.18}-kaolinite, (d) TPPS_{0.28}-kaolinite

2つの試料の可視吸収スペクトル(Fig. 4)は一致し、423 nm, 451 nmに Soret 帯に帰属される吸収帯が 2 つみられ、 $Q_y(0-1)$, $Q_y(0-0)$, $Q_x(0-1)$, $Q_x(0-0)$ が 519, 552, 592, 663 nm にそれぞれ見られた。Q 帯が 4 つ見られたことから、試料中の TPPS はフリーベースであることが示唆された。また、Soret 帯が 2 つ見られることから、TPPS は少なくとも異なる 2 つの状態が存在しているものと考えられ、そのうち極大吸収波長 423 nm は TPPS の希薄メタノール溶液中での Soret 帯の吸収極大と一致し、単量体で存在していると考えられた。¹⁰⁾ 励起スペクトルは可視吸収スペクトルと一致し、423 nm, 451 nm で励起した場合、すべて 520 nm 付近で発光した。

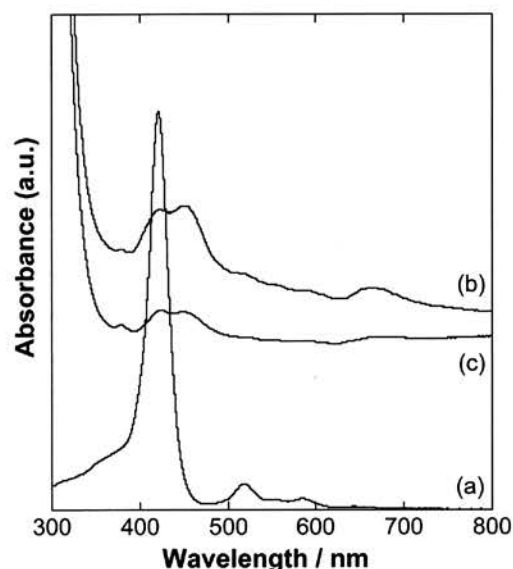


Fig. 4 可視吸収スペクトル：
(a) TPPS methanol solution,
(b) TPPS_{0.18}-kaolinite, (c)
TPPS_{0.28}-kaolinite

4. まとめ

2-アミノエタノール-カオリナイトを塩酸ジオキササン溶液中で攪拌することでカオリナイト層間の 2-アミノエタノールを塩酸塩化した。その結果、この層間化合物は N,N-ジメチルホルムアミド中から陰イオン性色素 TPPS を吸着した。吸着等温線から TPPS と 2-アミノエタノール塩酸塩の間に強い相互作用があることが示された。可視吸収スペクトルから TPPS は少なくとも 2 種類の状態で存在していることが示唆された。

5. 謝辞

本研究発表を行った国際会議への参加費および旅費の一部を財団法人信州大学工学部若里会よりご援助賜りました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Ogawa, M. and Kuroda, K. (1995) Photofunctions of Intercalation Compounds. *Chemical Reviews*, **95**, 399-438; Ogawa, M. (1998) Organized molecular assemblies on the surfaces of

- inorganic solids--- Photofunctional inorganic - organic supramolecular system. *Annual Reports, Section C*, **94**, 209-257.
- 2) Theng, B.K.G. (1974) The Chemistry of Clay Organic Reactions.
 - 3) Ogawa, M. and Kuroda, K. (1997) Preparation of inorganic-organic nanocomposites through intercalation of organoammonium ions into layered silicates. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **70**, 2593-2618.; Ogawa, M. (2004) in Auerbach, S. M., Carrado K. A. and Dutta, P. K. (Editors) Handbook of Layered Materials. Marcel Dekker, New York, p. 191.
 - 4) Brindley, G.W. and Robinson, K. (1945) Structure of Kaolinite. *Nature*, **156**, 661-662.
 - 5) Weiss, A., Thielepape, W., Goring, G., Ritter, W. and Schafer, H. (1963) Einlagerungs-Verbindungen. *Proceedings of the International Clay Conference, Stockholm*, **1**, 287-305.
 - 6) Weiss, A., Thielepape, W., Ritter, W., Schafer, H. and Goring, G. (1963) Zur Kenntnis von Hydrazin-Kaolinite. *Zeitschrift für anorganische Chemie*, **320**, 183-204.
 - 7) Olejnik, S., Aylmore, L.A.G., Posner, A.M. and Quirk, J.P. (1968) Infrared Spectra of Kaolin Mineral - Dimethyl Sulfoxide Complexes. *The Journal of Physical Chemistry*, **72**, 241-249.
 - 8) Takenawa, R., Komori, Y., Hayashi, S., Kawamata, J. and Kuroda, K. (2001) Intercalation of nitroanilines into kaolinite and second harmonic generation. *Chemistry of Materials*, **13**, 3741-3746.
 - 9) Tunney, J.J. and Detellier, C. (1997) Interlamellar amino functionalization of kaolinite. *Canadian Journal of Chemistry-Revue Canadienne De Chimie*, **75**, 1766-1772.
 - 10) Akins, D.L., Ozcelik, S., Zhu, H.R. and Guo, C. (1996) Fluorescence decay kinetics and structure of aggregated tetrakis(*p*-sulfonatophenyl)porphyrin. *Journal of Physical Chemistry*, **100**, 14390-14396.

地球温暖化防止のための金属廃棄薄板の新しいリサイクルプロセスの提案
Proposal of a novel recycling process of sheet metal wastes for freezing global warming

氏名：高野 拓樹，北澤 君義

所属：信州大学 工学部 環境機能工学科

発表会議名：Environmental Research Event 2007

開催年月：2007年12月2日～2007年12月5日

開催地：オーストラリア，ケアンズ，ジェームスクック大学

要旨

家電製品筐体や自動車ボディパネルなどの金属廃棄薄板は、通常、溶解工程を経てリサイクルされる。この溶解過程中に排出される大量の CO_2 は、地球温暖化の問題となる。この問題を解決するためには、溶解過程を経ずに曲げコーナー部を有する薄板を元の薄板に曲げ戻すことが必要となる。しかし、これらの金属廃棄薄板を曲げ戻すことは可能であるが、曲げ戻された薄板は、稜線に沿って減肉している。そこで本研究では、まず、減肉した曲げコーナー部を平坦化と同時に増肉化させるプロセスを提案する。次に、このプロセスの有効性を明らかにするため、曲げコーナー部の平坦化手法について実験的に検討した。その結果、インクリメンタル平坦化により、減肉した曲げコーナー部を平坦化と同時に増肉化できることが明らかになった。

1. 緒言

過去 100 年間で、地球の平均気温は約 0.6° 上昇し、この傾向は今でも続いている[1]。この地球温暖化の主な原因は、莫大なエネルギー消費による大量の CO_2 排出である[2]。この問題を解決するために、 CO_2 の排出量を抑制した省エネプロセスの開発が必要となる。金属廃棄薄板のリサイクルプロセスの場合、通常、使用後に溶解されて圧延により金属薄板に戻され、再び別の製品にプレス成形される。この溶解過程では、莫大なエネルギーが消費され[3][4]、大量の CO_2 が排出される。もし、この溶解過程を経ずに、元の状態に戻すことができれば、大量の CO_2 排出という問題は解決される。このような観点から、塑性加工により製造された金属薄板製品を固体状態のまま元の薄板形状に戻す技術が検討され始めている[5][6]。金属筐体の場合には、曲げ戻しにより元の板厚に戻せるか否かが重要となる。よく知られているように、曲げ加工が施された金属筐体は、曲げコーナー部でその板厚は減肉している[7] (図 1)。従って、固体状態で金属薄板廃棄物を元の薄板に戻す場合、減肉した曲げコーナー部を平坦化

と同時に増肉化させることが課題となる。しかし、減肉した曲げコーナー部の板厚を元の板厚以上に戻す方法については報告されていない。

そこで本研究では、まず、減肉した曲げコーナー部を平坦化と同時に増肉化させる手法を提案する。次に、増肉化の可能性に焦点を絞り、提案法の有効性を実験的に検討した。その結果、インクリメンタル平坦化により、課題となっている減肉部の増肉化の可能性が明らかになったので、以下、その結果を報告する。

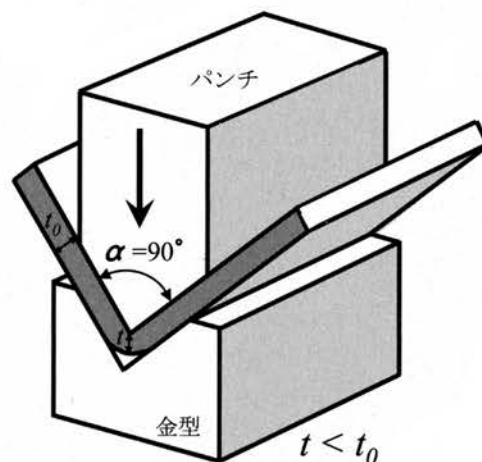


図 1 曲げ加工による減肉化現象

2. 増肉化プロセスの提案

減肉した曲げコーナー部を平坦化と同時に増肉化するために、図2に示す平坦化プロセスを提案する。このプロセスでは、まず、金属管体から曲げコーナー部を有する薄板を取出す。次に、曲げコーナー部のみを残して、残存コーナー部を有する薄板に曲げ戻す。そして、この残存コーナー部を平坦化する。平坦化過程中に残存コーナー部の三角形の斜辺の体積が底辺へ移動すれば、体積一定則が成立するため、減肉した残存コーナー部は増肉化するはずである。

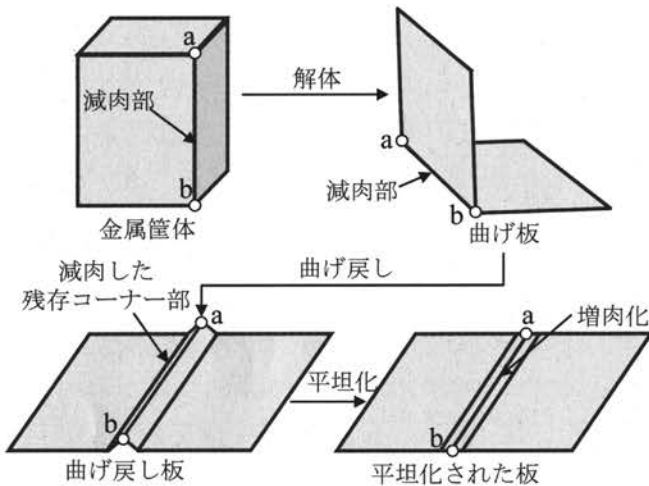


図2 提案された平坦化プロセス

いま、図3に示すように、三角形の斜辺の体積（二つの長方形ABGH, DEHIと四つのおうぎ形AFG, BCH, CDH, EIJが紙面に垂直な方向に単位長さの奥行きを有することで得られる立体の体積）が、そのまま底辺へ移動し、均一な板厚 t になるモデルを考える（以下、三角形モデルと呼ぶ）。このモデルに体積一定則を適用すると、平坦化後の板厚 t は次式で表される。

$$\frac{t}{t_0} = \frac{\pi - 4}{2\sqrt{2}} \frac{t_0}{W} + \sqrt{2} \quad (1)$$

$t_0=1.0\text{mm}$ の場合、平坦化後の板厚 t は、斜辺の長さ W が大きくなるほど、 1.414mm に近づく。

本研究では、残存コーナー部の平坦化手法として、以下の3手法を提案する。第1の手法は、

プレス成形である。図4(a)に示すように、残存コーナー部はパンチにより平坦化される。第2の手法は、圧延である。同図(b)に示すように、残存コーナー部は、円柱状のロール工具の回転により平坦化される。第3の手法は、インクリメンタル成形である。この手法では、同図(c)に示すように、プラネタリー形状のロール工具を回転させることで、残存コーナー部は、逐次打撃を受けながら平坦化される。

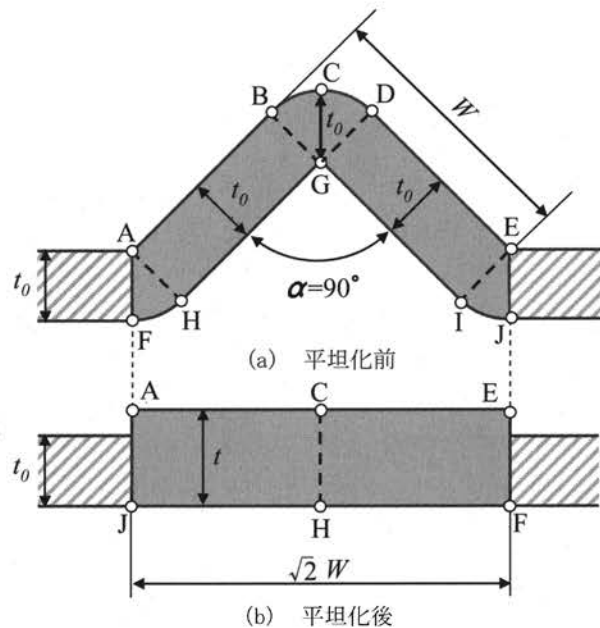


図3 三角形モデル

2. 実験方法

2.1 試料薄板

市販のアルミニウム薄板(A1050-H24, 板厚 $t_0=1.0\text{mm}$)とアルミニウム合金薄板(A5052-H34, 板厚 $t_0=1.0\text{mm}$)を用いた。これらの薄板を $230\text{mm} \times 230\text{mm}$ にシャー切断後、曲げ半径 $R=0.01\text{mm}$ の条件で、ブレーキにより、曲げ角度 $\alpha=90^\circ$ 、斜辺の長さ $W=10\text{mm}$ の形状に曲げ加工を行い、残存コーナー部を有する試料薄板を作成した。図5に、この薄板の形状を示す。表1に試料薄板の機械的性質（曲げ加工前）を示す。

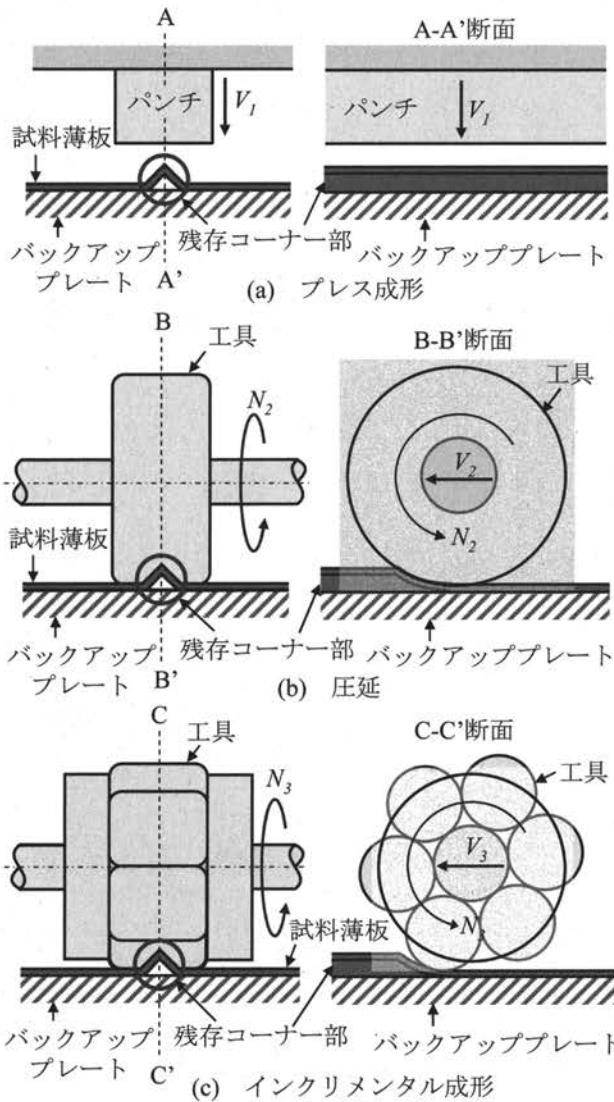


図4 平坦化手法の提案

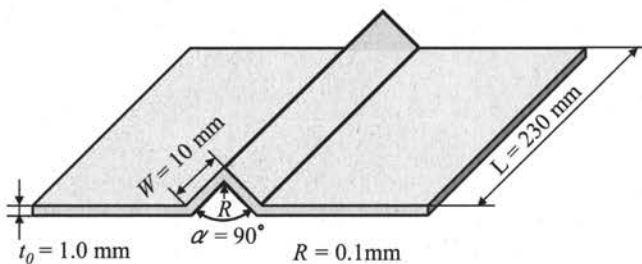


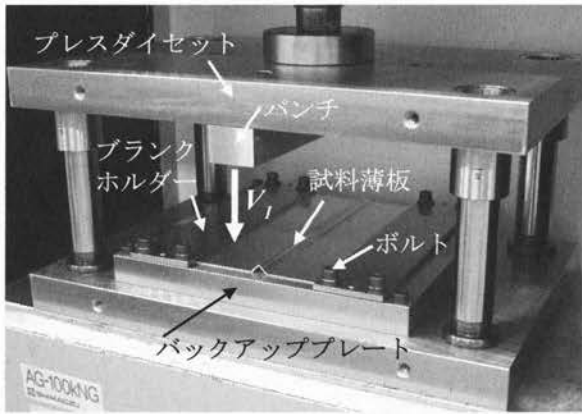
図5 試料薄板の形状

表1 試料薄板の機械的性質

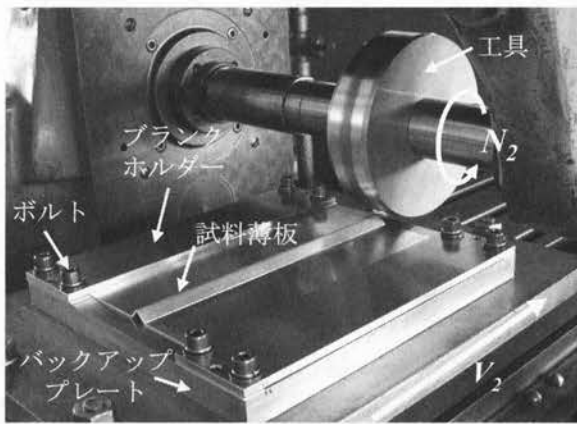
材料	板厚 t (mm)	引張強さ σ_B (MPa)	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ (MPa)
A1050-H24	1.0	110	105
A5052-H34	1.0	260	215

2.2 平坦化条件

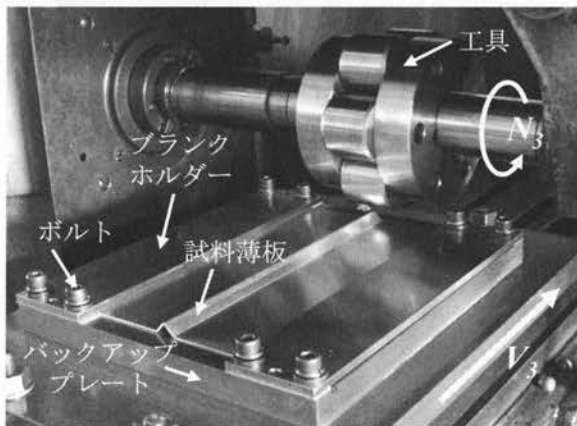
図6に残存コーナ部の平坦化に用いられた各成形機の外観を示す。同図(a)にプレス成形機の外観を示す。この成形機は、万能試験機にプレスダイセットと一般構造用鋼材(SS400)で作られたパンチを取付けたものである。ここでは、圧縮速度 V_1 を 1.0mm/min に設定した。同図(b)に圧延機の外観を示す。この成形機は、横フライス盤に円柱状の工具(外形 150mm)を取付けたものである。円柱状の工具は合金工具鋼(SKD11)で作られており、焼入れ処理が施されている。ここでは、試料送り速度 V_2 を 35mm/min とし、工具回転数 N_2 は、 36rpm と試料送り速度に同機させた場合の2条件について検討した。また、工具と試料薄板のクリアランス δ は、ゲージを用いてゼロに設定した。同図(c)にインクリメンタル成形機の外観を示す。この成形機は、横フライス盤にプラネタリー形状の工具を取付けたものである。このプラネタリー形状の工具(外形 150mm)は、6つのロール(直径 50mm)が回転軸の周りに配置された構造になっている。なお、工具は、SKD11で作られており、焼入れ処理が施されている。ここでは、試料送り速度 V_3 を 35mm/min とし、工具回転数 N_3 は、 36rpm とした。また、工具と試料薄板のクリアランス δ は、ゲージを用いてゼロに設定した。試料薄板の両サイドを、ブランクホルダーで拘束した。ここでは、ブランクホルダーは、1枚当り4本のボルトで拘束されている。このボルトの締付け力 F (ボルト1本当りの締付け力)は、トルクレンチを用いて 10N に設定した。潤滑剤には、環境配慮の観点から、非塩素系切削油(粘度 18.2cSt)を用い、各工具と試料薄板の両方に塗布した。平坦化後、平坦化された薄板を切断し、平坦部の板厚をポイントマイクロメーター(器差 $0.1\mu\text{m}$ 、先端部のアール $SR=0.3\text{mm}$)を用いて測定した。なお、平坦化前後の残存コーナ部中心の板厚は、樹脂埋めをおこなった後、光学顕微鏡で測定した。



(a) プレス成形機



(b) 圧延機



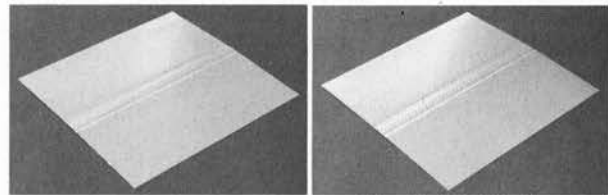
(c) インクリメンタル成形機

図6 平坦化に用いられた成形機の外観

3. 結果

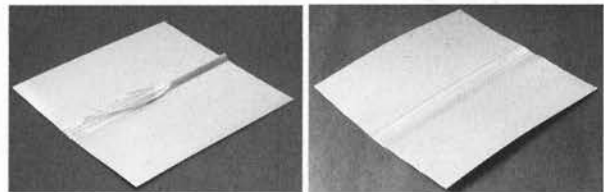
図7にプレス成形により平坦化された試料薄板の外観を示す。同図(a)と(b)に示すように、アルミニウム薄板とアルミニウム合金薄板の両方において残存コーナー部の平坦化は可能であった。図8に圧延により平坦化された試料

薄板の外観を示す。同図(a1)と(b1)に示すように、工具回転数が36rpmの場合、平坦化過程でバリが発生した。一方、工具回転数を試料送り速度に同機させた場合、同図(a2)と(b2)に示すように、バリは発生せず、残存コーナー部の平坦化は可能であった。しかし、平坦化されたアルミニウム合金薄板の工具出口側に波打ち現象が確認された。以後、圧延により平坦化された試料薄板の増肉量の評価は、バリの発生が抑制された工具回転数を試料送り速度に同機させた場合についておこなわれた。図9にインクリメンタル成形により平坦化された試料薄板の外観を示す。同図(a)と(b)に示すように、アルミニウム薄板とアルミニウム合金薄板の両方において残存コーナー部の平坦化が可能であった。

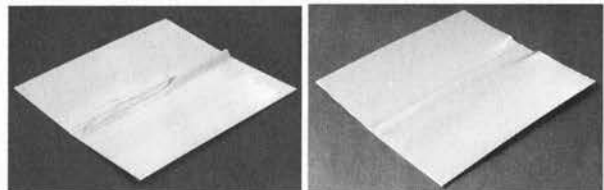


(a) A1050-H24 (b) A5052-H34

図7 プレス平坦化された試料薄板の外観

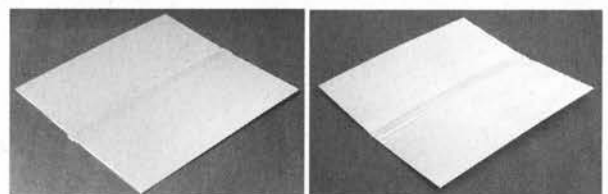


(a1) A1050-H24 ($N_2=36\text{rpm}$) (a2) A1050-H24 ($N_2=7.0 \times 10^2\text{rpm}$)



(b1) A5052-H34 ($N_2=36\text{rpm}$) (b2) A5052-H34 ($N_2=7.0 \times 10^2\text{rpm}$)

図8 圧延により平坦化された試料薄板の外観



(a) A1050-H24 (b) A5052-H34

図9 インクリメンタル平坦化された試料薄板の外観

各手法により平坦化された残存コーナー部の板厚分布を図 10 に示す。同図中の実線は、三角形モデルから計算された値である。同図(a) にアルミニウム薄板の平坦化後の残存コーナー部の板厚分布を示す。プレス平坦化の場合、残存コーナー部の中心の板厚は、平坦化前の板厚よりも減肉化した。圧延の場合、平坦化後の板厚分布は非定常となった。残存コーナー部の中心の板厚は、平坦化前の板厚よりも増肉化するものの、初期板厚 $t_0=1.0\text{mm}$ よりも小さい値となった。インクリメンタル平坦化の場合、平坦化後の板厚分布は二山形となり、残存コーナー部の中心の板厚は、初期板厚よりも増肉化した。同図(b) にアルミニウム合金薄板の平坦化後の残存コーナー部の板厚分布を示す。プレス成形の場合、残存コーナー部の中心の板厚は、平坦化前の板厚よりも大きく減肉化した。圧延の場合、平坦化後の板厚分布は非定常となった。残存コーナー部の中心の板厚は、平坦化前の板厚よりも増肉化するものの、初期板厚よりも小さい値となった。インクリメンタル成形の場合、平坦化後の板厚分布は二山形となり、残存コーナー部の中心の板厚は、初期板厚程度まで増肉化した。以上の結果は、インクリメンタル成形により、減肉した残存コーナー部中心の板厚は、初期板厚以上に増肉化することが可能であることを示している。

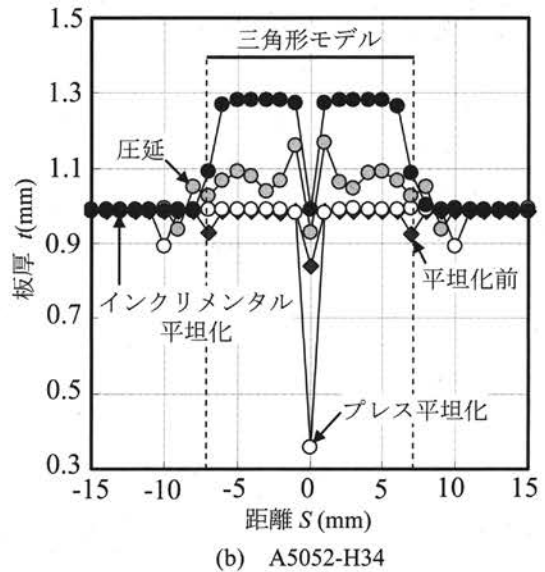
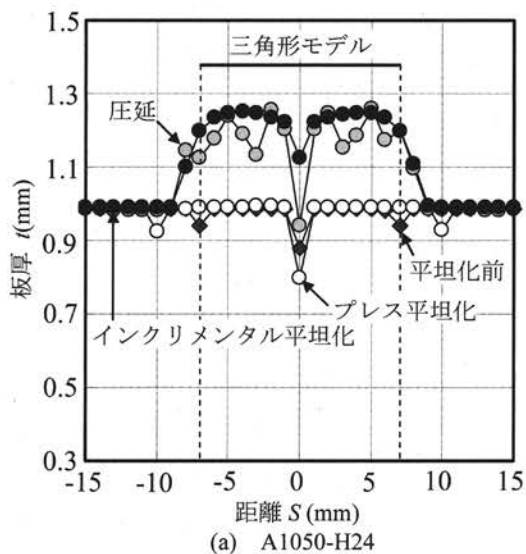
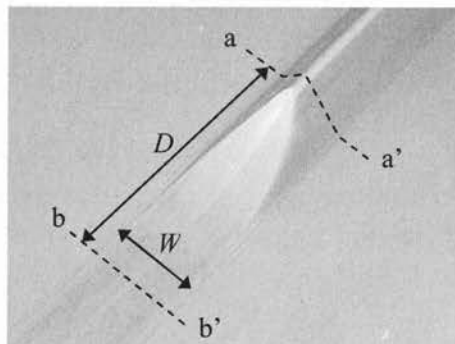


図 10 各手法によって平坦化された試料薄板の板厚分

4. 幅広がり量と増肉量

上述のように、インクリメンタル平坦化により、減肉した残存コーナー部の板厚を初期板厚以上に増肉化させることが可能であった。しかし、インクリメンタル平坦化された残存コーナー部の増肉量は、三角形モデルから計算される値よりも低い。体積一定則の観点からすると、三角形モデルとの差に相当する体積の移動先が論点となる。そこで、図 11(a) に示すように、平坦化過程における残存コーナー部の幅 W を測定した。同図 (b) に示すように、平坦化の進展に伴い板幅 W は増大した。もし、三角形モデルとの差がこの幅広がり量のみ起因するのであれば、図 10 に示した板厚分布の三角形モデルの領域内の体積と三角形モデルの領域外で増肉化した体積の和から計算された平均板厚は、式(1)から計算された値である 1.384mm と一致するはずである。そこで、増肉化した全ての領域の体積から三角形モデルと同じ幅 $\sqrt{2}W$ の範囲で平均板厚を求めると、アルミニウムの場合 $t=1.380\text{mm}$ となり、アルミニウム合金の場合、 $t=1.378\text{mm}$ となった。これらの値は、三角形モデルから計算された値である 1.384mm とほぼ一致する。したがって、実際の増肉量と三角形モデルとの差は、この幅広がり現象によるものと推察される。



(a) 平坦化過程中的残存コーナー部

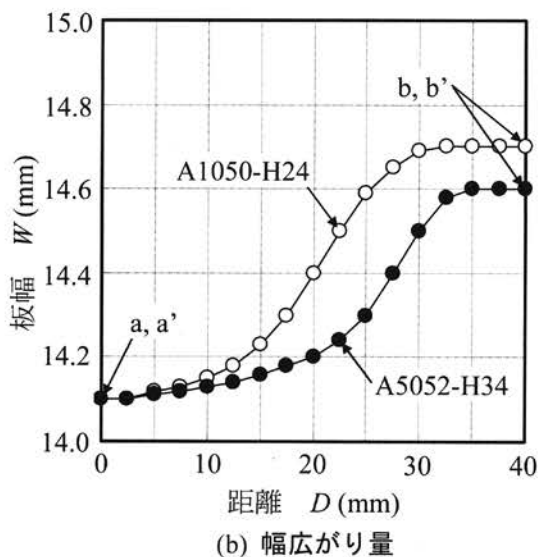


図 11 インクリメンタル平坦化過程における残存コーナー部の幅広がり現象

5. 結言

本研究では、非溶解で減肉した曲げコーナー部を平坦化と同時に増肉化させるプロセスを提案した。次に、増肉化の可能性に焦点を絞り、提案法の有効性を実験的に検討し、以下の結果を得た。

- (1) インクリメンタル平坦化により、減肉した曲げコーナー部を初期板厚以上に増肉化することが可能であった。この結果は、非溶解で金属廃棄薄板をリサイクルできる可能性を示している。なお、プレス平坦化および圧延では、減肉した曲げコーナー部を初期板厚以上に増肉化することができなかった。

- (2) 平坦化後の増肉量は、三角形モデルから計算された値よりも低い値となった。この差は、平坦化過程中的残存コーナー部の幅広がり現象に起因する。

謝辞

本研究が発表された国際会議の参加費および開催地までの旅費の一部は、信州大学工学部若里会によって援助されました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] T. M. L. Wigley, S. C. B. Raper, Interpretation of high projections for global-mean warming, *Science* 293, 451-454, 2001.
- [2] J. S. Sawyer, Man-made carbon dioxide and the "greenhouse" effect, *Nature*, 293, 23-26, 1972.
- [3] G. Lazzaro, C. Atzori, Recycling of aluminum trimmings by conform process, *Light Metals, Proc. of TMS annual meeting*, 1379-1384, 1992.
- [4] Y. Kim, E. Worrell, International comparison of CO₂ emission trends in the iron and steel industry, *Energy Policy*, 30, 827-838, 2002.
- [5] W. Schroeder, B. Calif, Distortion due to contour-forming of extrusions and preformed sheet-metal section, *Transactions of the ASME*, 68, 287-292, 1946.
- [6] C. S. Namoco Jr., T. Iizuka, R. C. Sagrado, N. Takakura, Y. Yamaguchi, Experimental and numerical investigation of restoration behavior of sheet metals subjected to bulging deformation, *Journal of Materials Processing Technology*, 177, 368-372, 2006.
- [7] C. S. Namoco Jr., T. Iizuka, K. Narita, T. Takakura, K. Yamaguchi, Effect of embossing and restoration process on the deep drawability of aluminum alloy sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 202-206, 2007.

知識共有を目的としたドキュメント操作のための 協調プラットフォーム

香山瑞恵

信州大学 工学部 情報工学科

E-Learn 2007

- World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education -
5 - 19 October 2007.

Hilton Quebec, Quebec City, Canada

1. はじめに

ネットワーク環境での協調学習を支援するシステムは、グループ内で同期・非同期に情報や知識を共有できる空間(協調作業空間: Collaborative Workspace, CWS)を有する。同時に、個々の学習者が個人的な活動を行う空間(個人作業空間: Private Workspace, PWS)も提供される。これらの活動空間での情報や知識の交換と参照、さらに協調作業空間での情報や知識の共有方法に関して、様々な研究が行われている[1,2]。協調学習の支援基盤となる学習環境プラットフォーム(協調プラットフォーム)に共通して期待されている機能には、学習状況を共有するためのアプリケーション画面や操作の共有のみならず、作業空間内での活動の履歴や協調アプリケーションの状態の記録(record)、記録した情報の参照(reference)、参照した情報からの作業場の状況の再生(replay)などがあげられる[3,4]。これらの機能は協調学習が展開される環境(OS: Operating System および各種アプリケーション)に依存せずに実装されることが望ましい。

本研究では、学習環境に依存せずに情報や知識の共有を実現するための協調プラットフォームを提案する。より汎用なメカニズムにより、グループと個人との作業空間間での学習・作業成果に対するシームレスな操作を実現するプラットフォームを指向する。

2. 研究目的

本研究の目的は、個々の学習者が個別に行う学習とグループ学習とをシームレスに連携させる協調プラットフォームを探究することにある。ここでは、協調学習環境の構成モデルに基づき、グループ/個人作業空間における協調活動を実現するためのメカニズムを提案する。この成果は、e-Learningでの協調タスク遂行の場として利用される。具体的には、学習者が協調して教え合いかつ話し合う学習環境として、あるいは学

習コンテンツ開発者がグループでコンテンツ開発する際の作業環境としての利用が想定される。

提案環境では、学習参加者全員がICTを利用することを前提とした学習状況において、個々の学習者およびグループの学習過程で生じる様々な成果物が管理対象とされる。ここでいう成果物とは、完成された学習結果のみならず、学習過程において生成される/得られるすべてのデジタル情報を指す。アイデアや意見をICTを用いて外化した結果や他者が発信している関連情報もその範疇に含まれる。本研究では、これらのデジタル情報を総じてドキュメントと称することとする。提案するプラットフォームでは、ドキュメントへの操作、すなわちドキュメントの作成(情報生成と収集)/公開/共有/交換を支援する機能が実現される。同時に、学習者に対して、彼らが日常的に利用するICT環境(OSとアプリケーション)を保障しつつ、個人作業空間とグループ作業空間とでの統一的な情報管理機構を提供することで、個人学習とグループ学習とのシームレスな連携の実現を目指す。

以下、3章では協調学習支援システム/フレームワークに関連する先行研究の概観と本研究の特徴とを示す。その上で4章では、協調学習環境を構成要素とそれらの関連といった観点からモデル化し、本研究で提案する協調プラットフォームのプリミティブな機能の整理を図る。5章において本研究で提案する協調プラットフォームを詳述し、6章で提案内容の評価を示し、7章でまとめとする。

3. 先行研究の概観と本研究の特徴

3.1 協調学習支援システム/フレームワークの機能

協調学習支援システム/フレームワークに具備されるべき機能、特に協調作業空間の実現に関わる事項として、以下の機能が必要とされる[5-7]。

- ・ 同期・非同期での教材の共有
- ・ グループによって使用されるアプリケーションに

対する操作やビューの同期・非同期での共有
グループによって生成される学習成果や学習履歴
の同期・非同期での共有

これらを実現させる仕組みとして、これまでに多くの提案がなされてきた。特定ユーザのコンピュータのデスクトップ環境あるいはアプリケーション画面を共有するためのユーティリティ(MacOS用のTimbuktuや、Windows用のNetMeetingやWindowsMessenger等)では、入力デバイス(マウスやキーボードなど)の操作結果のイメージが特定ユーザの環境から他の参加者のコンピュータに転送されることで、ビューの共有がなされる。しかし、これらのユーティリティは稼動するOSが限定され、非同期での共有機能を有していない。また、近年はOSに依存しないタイプのユーティリティ(VNC:Virtual Network Computingの1種であるMultiVNCやMetaVNC等)の提案もある。しかし、これらのユーティリティには、非同期での共有機能や学習履歴の管理機能が具備されていない。

同期・非同期での共有を実現するフレームワークの提案もある。学習者が利用しているアプリケーションのパラメータや現在の状態などを他者に送信する仕組みを提供し、学習状況の共有化を実現しているフレームワーク[3,8]や、学習参加者のアプリケーションに対する操作イベントがサーバによりキャプチャされ、全参加者の端末で実行されることで、アプリケーションのビューの共有がなされるフレームワーク[9-12]などである。しかしながら、いずれも特定の学習環境内に構築された特殊なアプリケーション上での機能提供に留まる。その他には、特定の協調学習用フレームワークに準拠したアプリケーション上での共有を実現しているものがある[4,13-17]。ここでは、操作系列の記録、学習過程の再生の機能、個人のノートに記された学習成果の記録と参照の機能等が提供されている。しかしながら、あくまでもフレームワークに準拠したアプリケーションのみが対象であり、またアプリケーションを実装するOSが制限される。

一方、統一フォーマットに整理したドキュメントに対して、その内容やアノテーション、変更・修正箇所等を共有するプラットフォームも提案されている(PDF形式によるAcrobatや、HTMLページによるGoogleグループなど)。これらは非同期での共有のみであり、同期での共有に対応しているものはない。また、特定アプリケーションのプラグインとして実現されているプラットフォームがある[18,19]。ここでは、プレゼンテーション資料をイメージファイルとして扱い、学習参加者に配信することで同期・非同期での共有を

実現している。履歴や付加情報の管理機能も備えているが、特定アプリケーションとの組合せでなければ機能しないという制約がある。

このように、OS非依存かつアプリケーション非依存で、同期・非同期での共有を実現し、さらに学習履歴管理を実現しているプラットフォームはない。

3.2 本研究の特徴

このような研究動向をかんがみ、本研究で提案する協調学習支援の機能的特徴は次の通りである。すなわち、協調作業を支援する基礎技術の具体化することを指向し、学習参加者による円滑な協調行為の実現支援、および教師・学習設計者のための協調学習環境設計・運営支援の機能を提供するものである。また、提案プラットフォームにおいて実現される協調技術の機能的特徴は次の通りである。すなわち、クライアント端末のOSに非依存であり、かつクライアント端末で利用されるアプリケーションに非依存であり、しかも管理対象とするドキュメントの種類に非依存な形式で協調プラットフォームを設計する。

本研究では、学習ドキュメントが生成される端末環境のOSに共通する特徴を活かし、ウィンドウ・インタフェースで管理されるすべてのデジタル情報、すなわちドキュメントをイメージファイルとして統一的に管理することで、学習参加者の端末環境に依存しない、汎用的なドキュメント操作のためのプラットフォームを提案する。

4. 協調学習環境の構成要素

前章で示した機構を実現するために、まずは協調プラットフォームの設計が必要となる。ここでは、グループ作業場を含む協調学習環境の構成要素と要素間の関係とを整理する。

4.1 協調学習環境の構成要素モデル

協調学習環境を構成する諸要素を図1に示す。対話層/作業層/情報参照層の3階層で表現される。これらの層に作業主体と作業場とからなる作業空間を位置



図1 協調学習環境の構成要素モデル

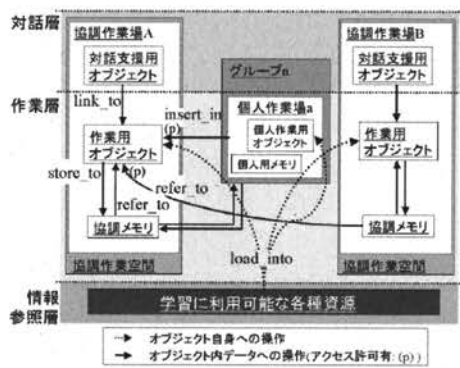


図2 要素間の関係モデル

づける。対話層を含む協調作業空間(CWS)と、作業層のみからなる個人作業空間(PWS)とがある。そして、CWSにはグループ作業場(CW: Collaborative Workplace)が、PWSには個人作業場(PW: Private Workplace)が含まれる。情報参照層は、学習に利用可能な各種資源としての教材や各種データ/ライブラリ、汎用アプリケーション等からなる。

4.2 要素間の関連モデル

構成要素間の関連を情報参照モデルとして図2に示す。協調学習では、行為主体からの要求を受けて、CWS/PWS内の任意の要素間で情報の送受が行われる。各種資源から協調/個人作業用オブジェクトに対して、学習用資源が読み込まれる(load_into)。この関係は協調学習環境の構成要素同士の間で定義される。この他の関係は、当該構成要素から出力される情報と対応する構成要素との間で定義される。例えば、CW内の対話支援用オブジェクトから協調作業用オブジェクトに対して、問題解決のためになされたコミュニケーションデータが送信され、対応する協調行為と関連付けられる(link_to)。PWから協調作業用オブジェクトに対して、PWでなされた作業の成果が挿入される(insert_in)。協調作業用オブジェクトと協調メモリの間には、協調作業用オブジェクトからの出力を協調メモリへ格納すること(store_to)や、協調作業用オブジェクトから協調メモリ内の情報を参照すること(refer_to)などの関係が定義される。協調プラットフォームにはこれらの情報参照を具体化するための技術が求められる。

5. ドキュメント操作のための協調プラットフォーム

4章のモデルをふまえて、PW/CWでのシームレスなドキュメント操作の実現のための協調プラットフォームを提案する。以下、本提案の概要、管理対象とな

るドキュメント、アーキテクチャ、機能、実現される学習形態、そして期待される効果に関して述べる。

5.1 概要

本プラットフォームは、全学習参加者が各自のPC(Personal Computer)を教具として利用しながら学習に参加する状況で、個人とグループとの間でのシームレスなドキュメント操作、すなわち作成(情報収集/生成)/公開/共有/交換を支援することを目的としている。学習者に対して、彼らが日常的に利用するICT環境を保障しつつ、統一的な情報管理を実現する環境を提供する。ここでは、情報生成や情報発見の方法やプロセス、あるいは個々の学習者が利用するアプリケーションの操作を共有するわけではない。個々のアプリケーションへの操作は、当該アプリケーションを動作させている個人のみが行い、他者はその変更結果のみを共有することとする。すなわち、学習者端末でのセキュリティ/プライバシーの確保と、個々のドキュメントに対する所有権の保障とを意識し、メタレベルでのアプリケーション操作の共有を実現する。

5.2 管理対象となるドキュメント

本研究では、すべてのドキュメントをイメージファイルとして統一的に管理することで、学習参加者の端末環境に依存しない、汎用的なドキュメント操作のためのプラットフォームを提案する。本プラットフォームのインタフェースを図3に示す。3種の異なるOS間での利用例である。各端末には、作業場管理用ツール(各OS画面内左)と、ドキュメント操作ツール(各OS画面内右)とが示される。ドキュメント操作ツールは、ドキュメント共有エリア/履歴管理エリア/メタデータ管理エリアから構成される。

本研究では、PW/CWとでのドキュメントの共有を、ドキュメントが生成されるアプリケーション・ウイン



図3 提案プラットフォームのインタフェース

ドクのイメージの共有という形で実現するものである。本プラットフォームで管理対象となるドキュメントは以下の5種である。

- (1) ウィンドウ・インタフェース内のイメージファイル
- (2) クライアント端末内のイメージファイル
- (3) URL 指定でアクセス可能なイメージファイル
- (4) 上記3種に加えられた描画や文字列
- (5) 上記4種へのアノテーション(生成日, 作成者, コメント, タイトル等を含む)

(1)から(3)がドキュメントのベースイメージである。(4)はベースイメージに対して追記される情報であり、ベースイメージにオーバーレイされるイメージとして管理される。(1)から(4)までが学習成果としてのコンテンツとなる。(5)はコンテンツに対するメタデータである。コンテンツとメタデータとが統合されドキュメントとして管理される。

5.3 アーキテクチャ

提案プラットフォームは、MVC(Model-View-Control)モデルとしては、D.Suthers の協調学習基盤分類[20]における複製配置型と分散配置型とを混合させたアーキテクチャとして実現した。図4にその概要を示す。これは中心にサーバを、周囲に3つの学習者端末としてのクライアントを配した構成である。各学習者端末には、それぞれ MVC 要素が提供される。サーバには永続オブジェクトとしての Model 要素が置かれる。学習者端末での操作、すなわち Control へのイベント・データがサーバを介して他の学習者端末にブロードキャストされる。送信されるデータは Model データではなく Control データのみであるため、ネットワーク負荷は高くならない。Eternal Model の維持および各端末の Control 通信には Horb を利用した。また、提案ツールではPWのICT環境に依存しないドキュメント共有を実現している。JVM が可動する OS であれば、各 OS 用 JNI(Java Native Interface)層を介してそれぞれの学習者端末の Model がドキュメントの状態を再生する。

5.4 機能

本プラットフォームの機能は、協調行為を円滑に行うことを意図した学習者向けの機能のみならず、ドク

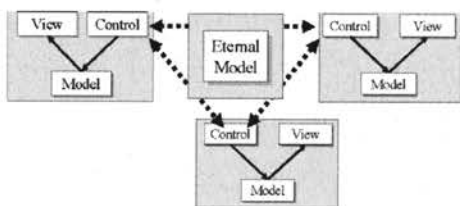


図4 提案プラットフォームのMVCモデル

ュメントへのアクセス制御を意図した教師向けの機能、およびグループ管理やドキュメント管理を意図した学習環境設計者向けの機能も含まれる。提案環境には以下の6種の機能を具備した。

- (1) PW/CW の存続属性の設定
- (2) PW/CW へのドキュメントの取り込み (load_into)
- (3) PW/CW 間でのドキュメントの相互取り込み (insert_in, refer_to)
- (4) PW/CW 内のドキュメントに対する描画情報とメタデータの付加
- (5) ドキュメントの履歴保持および参照(store_to, refer_to)
- (6) 履歴に対する操作権限の設定

これら6種の機能概要を図5に示す。図5は、図1の構成要素および図2に示した要素間の関連を提案プラットフォームに当てはめたものである。協調作業オブジェクトおよび個人作業オブジェクトとして提案プラットフォームのクライアントユーティリティ(Lapchat と称する)が示されている。

■ PW/CW の存続属性の設定:PW/CW の存続属性では、生成されるドキュメントの永続化と削除権限とを設定する。図5中(1)の部分に設定インタフェースを示す。ドキュメントの永続化とは、Eternal Model あるいは各 Model 内にドキュメントを残し、学習終了時、すなわちドキュメントの作成を宣言した学習者がログアウトした時点以降のドキュメント参照を可能とすることである。永続化しない場合には、学習終了時にドキュメントはプラットフォームにより自動破棄される。削除権限とは、ドキュメントの作成を宣言した学習者以外のグループメンバーによる当該のドキュメント削除の可否を決定することである。

■ PW/CW へのドキュメントの取り込み:各学習者端末上のウィンドウ・インタフェースのイメージ等、5.2に示した情報をPW/CWへ取り込む。取り込まれ

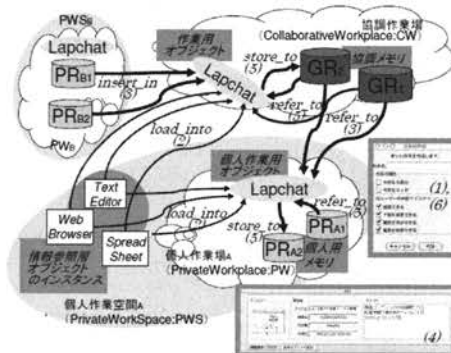


図5 機能概要

たイメージはドキュメントとして提案プラットフォームの管理対象となる。学習者端末上のアプリケーションは情報参照層オブジェクトである。これらのオブジェクトのインスタンスが各学習者端末に存在するととらえる。アプリケーションで生成されるドキュメントのPW/CWへの取り込みは4.2で示したload_into機能にあたる(図5中(2)参照)。

■ PW/CW 間でのドキュメントの相互取り込み：CWへ取り込み可能なPWのドキュメントは、5.2に示した情報、および過去に本プラットフォーム上で生成された個人学習の成果としてのドキュメント群である。作業層に存在する個人用メモリにあたる個人用リポジトリ(PR: Private Repository)からCWへのドキュメント公開は4.2で示したinsert_in機能である。一方、PWへ取り込み可能なCWのドキュメントは、過去に生成された協調メモリにあたるグループ用リポジトリ(GR: Group Repository)と、現在進行中の学習で生成されているGRの内容である。GRからPWへの取り込みは4.2で示したrefer_to機能にあたる(図5中(3)参照)。

■ PW/CW 内のドキュメントに対する描画情報とメタデータの付加：ドキュメントとそれへの描画情報とはModel内で個別管理される。そのため、ドキュメントのみ、あるいは描画情報のみの更新が可能である。図5中(4)の部分に設定インタフェースを示す。

■ ドキュメントの履歴保持および参照：ドキュメントの履歴は、描画データと共に学習者が指定したタイミングでModel内に保持される。履歴データは本プラットフォーム上のドキュメントとして、別のCWへの読込、グループメンバである学習者のPWへの取り込み(および閲覧)が可能である。また、保持されたドキュメントは、以後の学習において同期/非同期を問わず、グループメンバによって参照可能となる。これは4.2で示したstore_to機能およびrefer_to機能である(図5中(5)参照)。

■ 履歴に対する操作権限の設定：履歴に対する操作権限の設定とは、ドキュメントの履歴リストへの追加、CWへの履歴データの取り込み、取り込まれた履歴データの改変、履歴データの削除といった操作の可否を設定することである。この際、CWの属性によりその設定内容が制限される。すなわち、CW内のドキュメントはサーバ上の永続ドキュメントとなり、それへのアクセス権限は履歴操作権限ではなく、CWの属性により制御される。図5中(6)の部分に設定インタフェースを示す。

5.5 実現される学習形態

本プラットフォームで実現される学習は、個人学習

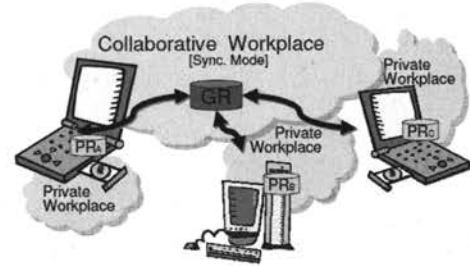


図6 実現される学習イメージ

／協調学習／一斉学習の3形態である。図6にこれらを統合した学習イメージを示す。本節ではそれぞれの学習形態の実現方法および特徴を示す。

■ 個人学習：本プラットフォームを個人端末内のみで起動することによりPWとして利用する。ここでは、1学習者が個人の学習成果としてのドキュメントの構築(作成と整理)を行う。ドキュメントはPRで管理される。PRはクライアント端末内の学習者が指定したディレクトリ(RemovableDisk, HardDisk, FloppyDisk等)に構築される。PRは可搬であり、本プラットフォームのクライアントツールと共に持ち運ぶことで動作環境を選ばずに学習を継続できる。

■ 協調学習：本プラットフォームをサーバ接続させ起動することによりCWとして利用する。同期してサーバ接続している学習者が存在する場合には同期型協調学習となる。この場合、CWを生成した参加者以外のすべての学習者に対して同等のドキュメントへのアクセス権が与えられる。ここでアクセス権設定とは以下の6種の権限の可否を指す。

- ・ ドキュメントへの描画許可
- ・ ドキュメントの変更許可
- ・ 履歴の追加許可
- ・ 履歴の削除許可
- ・ 履歴属性の修正/変更許可

また、ドキュメント操作に際しての操作権は存在せず、すべての学習者が同一タイミングで個別にドキュメントへの操作が可能である。

協調学習では、ドキュメントが本プラットフォーム上のサーバ内に設けられたGRで管理される。ここでは次の3種の行為が同期/非同期を問わず可能となる。すなわち、

- 1) グループメンバによるGR内ドキュメントの管理(追加/削除/更新等),
- 2) グループメンバのRP内のドキュメント(一部あるいは全部)をGRに公開,
- 3) GR内のドキュメント(一部あるいは全部)をグループメンバのRPに保存である。

■ 一斉学習：一斉学習は、協調学習において GR 内のドキュメントへのアクセス権を制御することで実現される。例えば、一斉学習の進行管理を担当する学習参加者(以後、教師役参加者と称する)があらかじめ個人学習により構築した PR を GR に公開し、上述の 6 種のアクセス権をすべて OFF の状態とする。その上で、同期型協調学習としてグループメンバが学習に参加することで、一斉学習が成り立つ。一斉学習において、学習者は教師役参加者が提示する情報を個々の PR に保存することができる。個々の RP に保存した上でアノテーションを与えることでそれぞれのドキュメントを自らの嗜好にそって再構成し、あたかも自身の電子ノートを構築していく。

5.6 期待される効果

提案プラットフォームの教育的効果および技術的効果を以下に示す。

■教育的効果

- ・嗜好に合わせた利用ツールの選択：学習者は、自身のドキュメントを OS およびアプリケーション種別の制約なしに作成することが可能となる。
- ・表現メディアの制約が少ない：学習者は、自己の考えやアイデアを表現するためのメディアを自由に選択することが可能となる。
- ・自己学習の活性化：ドキュメントの共有と再利用が実現するため、自己の問題意識からのアノテーション付与等が可能となり自己学習が活性化される。
- ・学習への関与の増加：自身のドキュメントを作成・公開するといった行為により学習が進行していくため、個々の学習者の学習への関わりが増す。

■技術的効果

- ・PW/CW への容易なドキュメント取り込み：JVM(Java Virtual Machine)が動作する OS において、ウィンドウ・インタフェース内に表示されるすべてのアプリケーションのイメージ取り込みが可能となる。ドキュメントの取り込みは、取り込みツールの起動、取り込みウィンドウの選択、取り込みの指示といった 3 ステップで実現される。
- ・PW/CW との間でのシームレスなドキュメント公開/交換：1 個人においては、同一の JVM 上に PW/CW を生成することで、ドラッグ&ドロップ操作により、PW/CW 間でのドキュメント移動が実現される。
- ・ドキュメントソースの保護とドキュメント共有との両立：ドキュメントのソースファイルを公開することはバージョン管理の煩雑さを伴うことになる。提案手法では、ドキュメントソースではなく、ドキュメントイメージを共有することで、オリジナルソースの保護

と協調タスクの実現とを可能とする。

・ドキュメント生成者の所有権を記録するメタデータ管理：誰が生成したドキュメントであるのか、誰がいつ公開したドキュメントであるのか、どのような目的で公開されたものであり、その際にどのような議論がなされたのか、こういった事柄をメタデータとして各ドキュメントに付記することで、ドキュメント生成者の所有権を保護しつつ、学習文脈を記録していく。

6. 提案技術の検証

本章では提案技術の検証結果を示す。検証事例として 2 種の実践を報告する。ここでは、検証事例における GR/PR 内のドキュメント数、およびそれらに対する参照回数に着目し、4.2 で述べた教育的効果および技術的効果を考察する。

6.1 事例 1：個人学習と協調学習との組合せ

■学習条件：2006 年 4 月より、大学院における講義において本プラットフォームを利用している。講義名は情報教育特論である。学習者数は 4 名である。講義頻度は週 1 回、1 回の講義時間は 90 分であり、通年 30 回の講義を実施した。これらの講義の中で、11 回の本プラットフォームによる学習を取り入れた。学習課題は、情報科のカリキュラムに関する問題点の把握と改善案の検討とした。学習形態は、個人学習と協調学習とを組み合わせたスタイルである。1 名の学習者が自身の授業におけるカリキュラムを説明する。他の学習者は、説明されたカリキュラムの利点と改善点を指摘していく。このような活動を通して、改善されたカリキュラムを開発することがこの講義の学習目的である。学習の様子、および生徒が利用した端末画面の様子、作成されたドキュメントの一部を図 7 に示す。

■実践の成果：11 回分の講義において、生成されたドキュメントの内容と数、およびドキュメントの参照回数を表 1 に示す。講義日毎に CW で共有されたドキュメントの数(GR)とアプリケーション種類(types)を示している。また、5 名の学習参加者の各 PR の内容として、総数(Total)、GR ドキュメントに付記した上で保存されたドキュメント数(Modified)と、以前の講義で作成したドキュメントを参照の回数(Referred)とを示している。

この学習期間では学生 D と学生 A とがカリキュラムを説明した。説明役の学生は講義時に自己の端末に各種アプリケーションを起動させ、説明用ドキュメントとしてアプリケーションから直接 GR にドキュメントを取り込みつつ(load¥_into)、カリキュラム意図等を解説した。このような進行のため、自己が説明者である回の PR ドキュメントは 0 となる。説明者以外の学習

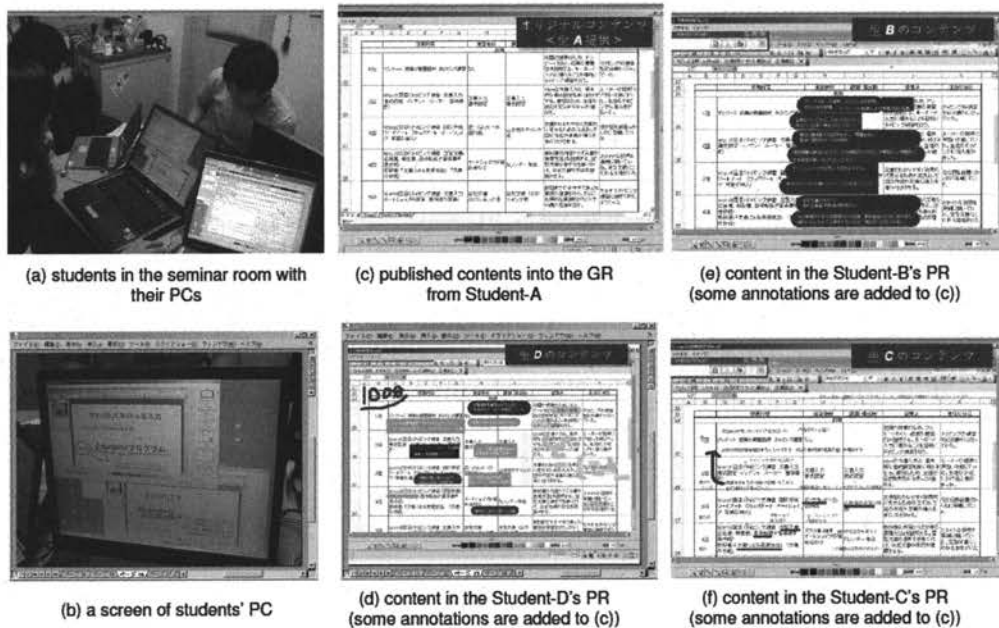


図7 事例1での学習結果

者はGRに公開されたドキュメントを各自のPRに取り込んでいく(refer_to)。そして、解説への質問や内容を口頭で確認しつつ、それらの質問や確認への回答に応じて、コメントや意見をPR内のドキュメントに付記していく。その上で、ドキュメントを逐次PRに保存していく(store_to)。これは協調学習の形式で展開される。7月の3回の講義では、これまでの議論を総括している。これらの回では、蓄積されたGRおよびPR内のドキュメントが頻繁に参照されていた。

■考察：各自が専用のPCを持参し講義に参加した。各自が日常的に利用するICT環境がそのまま本プラットフォームに組み込まれた。利用されたアプリケーションは6種におよぶ。説明者が解説に適するアプリケーションをその都度選択し、それらがすべてドキュメントとして利用された。週1回の講義であったため、毎回の講義時に前回の講義成果の振り返っていた。その様子は表1中PRのReferred数に示されている。

学習形態のモデルを図8に示す。事例1の特徴は、load_intoとrefer_toの関連の存在にある。特に、過去の学習ドキュメントを参照するrefer_toは表中のReferred数として現れる。図9に事例1の各講義における学習者のReferred率とModified率の平均をまとめた。Referred率とは、各PRのTotal数に対するReferred数の割合である。Modified率とは、各PRのTotal数に対するModified数の割合である。6月末までの8回の講義では2名の学習者からの説明を他の学習者が聞き

表1 事例1におけるPR/GR内のドキュメント数

date	types*	GR	P R (Total/Modified/Referred)				tutor
			A	B	C	D	
4/21	SS, PR TE	8	8/4/0	8/3/0	8/5/0	-	8/4/0
4/28	SS	9	10/4/1	10/3/1	10/5/1	-	10/5/1
5/12	SS, WB	16	17/3/1	17/4/1	17/4/1	-	17/5/1
5/19	SS	3	5/4/2	5/3/2	6/5/3	-	4/3/1
5/26	SS, WP	11	-	11/3/0	11/4/0	11/6/0	11/3/0
6/9	SS, WB	3	-	4/4/1	4/4/1	6/6/3	4/2/1
6/16	SS, MV	5	-	7/3/2	6/4/1	7/6/2	6/4/1
6/30	SS	6	-	7/3/1	7/4/1	7/5/1	7/4/1
7/7	-	6	6/0/6	6/0/6	6/0/5	6/6/6	6/0/4
7/14	-	5	5/5/5	5/0/5	8/0/8	7/0/7	5/0/4
7/21	SS, PR TE	6	6/1/6	7/1/7	6/1/4	6/2/6	8/2/8

* SS:Spread Sheet, PR:Presentation, WB:Web Browser, WP:Word Processor, MV:Multimedia Viewer, TE:Text Editor
Linux 端末と windowsOS 端末とが混在する環境で実施した。

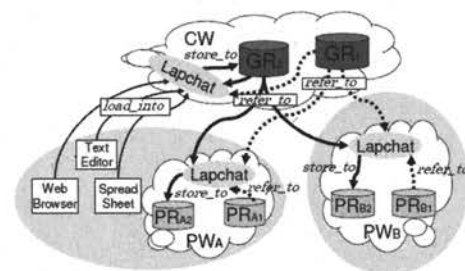


図8 事例1での学習形態

取る形式で進めた。説明役の学生はそれぞれ4回ずつの講義を担当した。説明を聞き取る形式での進行では、Modified率が高くなる。説明役の学習者から提供されたドキュメントに対して、聞き役の学習者が個々人のメモや注釈を書き込んでいく。

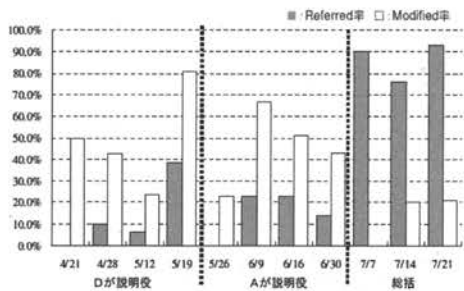


図9 事例1での学習行為の特徴

7月の3回の講義はそれまでの講義を総括している。GRに公開されるドキュメントの約80%は過去の講義で生成されたものがReferredされた結果であった。さらに、再度Modifiedされた結果がPRに格納されている。振り返りの際に、教師役参加者や説明担当者による口頭とオリジナルの資料での解説のみならず、学習者各自が過去に作成したドキュメント(オリジナル資料に独自のコメントや描画情報を付記したものや参考webページなど)を利用していた。「前に〇〇といった」「例の□□」といった曖昧な表現ではなく、過去の学習資産を再利用し、具体的な学習成果を視覚的に示すことで、学習コミュニティにおける確実な記憶の呼び起しと、学習成果に対する共通認識とが図れている。

6.2 事例2：一斉学習と個別学習との組合せ

■学習条件：2006年8月および2007年2月に実施した学部レベルの集中講義において本プラットフォーム

を導入した。講義名は情報科教育論IおよびIIである。学習者数は15名である。講義は各3日間、1日5時限(1時限は90分)の講義を実施した。これらの講義の中で8月には2回、2月には3回の講義で本プラットフォームを利用した。ここでの学習課題は、情報科のカリキュラム内容の理解である。学習形態は、一斉学習と個別学習とを組み合わせたスタイルである。学習の様子、教師役参加者の端末画面の様子、作成されたドキュメントの一部を図10に示す。

■実践の成果：この事例では、一斉学習と個別学習とが展開された。教師役参加者が情報科におけるカリキュラムとその教授法を解説する。同時に、カリキュラムを展開する上で必要な専門知識を例示していく。学習者は示された専門知識に関連するwebページを探索したり、カリキュラムの具体例を考案したりしつつ、各自のPRにドキュメントを蓄積していく。さらに、個別に探索/考案された成果は、教師役参加者の指示に従いGRに公開されていく。

6回分の講義において生成されたドキュメントの内容と数を表2に示す。8月1回目はプラットフォームを利用しない講義であり、2回目は教師役参加者からの情報提示のみに利用した。8月3回目と2月全3回の5回分は学習参加者全員(教師役参加者と全学習者)が本プラットフォームを利用した。講義日毎にGRドキュメントの数と取り込まれたアプリケーション種類、学習活動の概説を示した。GRの内容は、総数(Total)

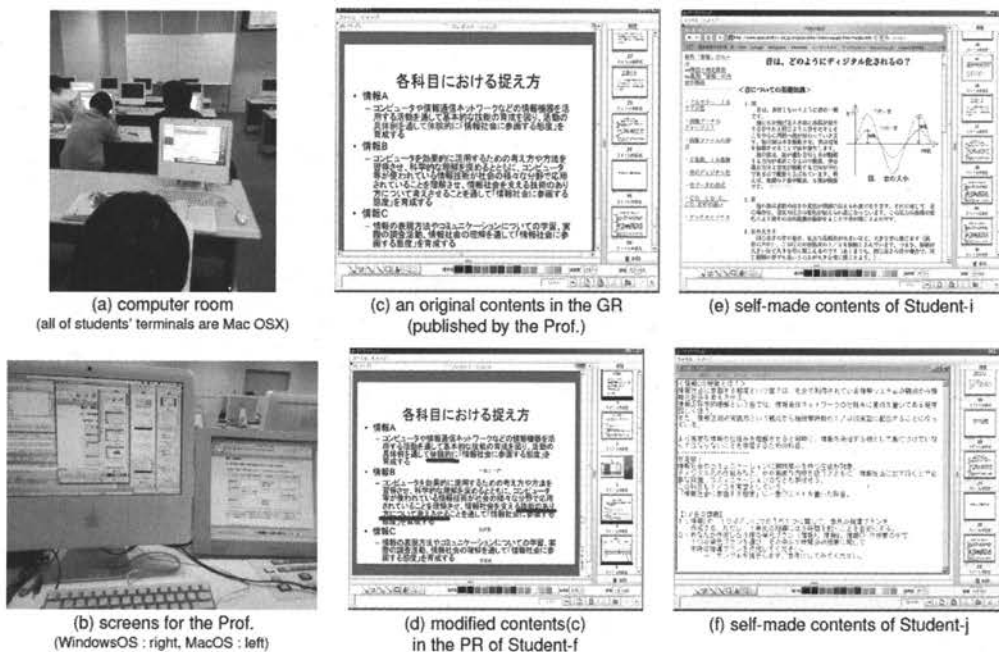


図10 事例2での学習結果

表2 事例2におけるPR/GR内のドキュメント数

date	types*	GR Total/Prof./Std. 学習活動の概説	P R							
			Learner's ID Total / Modified / Self-made							
8/29	-	-	-							
8/30	PR	25/25/0	-							
8/31	PR, WB TE, SS	26/20/6 特定の学習者 にドキュメント 公開依頼 (6名)	a	b	c	d	e	f	g	h
			31/5/6	30/8/4	9/4/0	6/4/0	19/5/4	23/3/2	30/6/4	22/10/0
			i	j	k	l	m	n	o	
2/26	PR, WB WP, SS	50/35/15 全学習者に1回 のドキュメント公 開依頼 (15名)	a	b	c	d	e	f	g	h
42/35/7			39/31/8	25/20/4	20/15/4	37/28/9	40/32/4	44/34/10	39/35/4	
i			j	k	l	m	n	o		
2/27	PR, WB MV, SS	14/10/4 全体講義後 個人学習で PR作成依頼	a	b	c	d	e	f	g	h
			30/10/20	29/10/15	22/10/10	27/10/16	28/10/18	30/10/20	28/10/15	33/10/20
			i	j	k	l	m	n	o	
2/28	PR, WB MV, SS	50/5/45 全学習者にGR へのドキュメント 公開・認明依頼	a	b	c	d	e	f	g	h
31/10/5			30/20/8	25/15/7	22/17/5	32/8/21	64/50/14	50/32/16	35/19/14	
i			j	k	l	m	n	o		
			42/22/17	25/15/9	65/50/11	48/35/13	35/23/12	30/14/15	47/33/14	

* SS:Spread Sheet, PR:Presentation, WB:Web Browser, WP:Word Processor, MV:Multimedia Viewer, TE:Text Editor windowsOS 端末と MacOS 端末とが混在する環境で実施した。

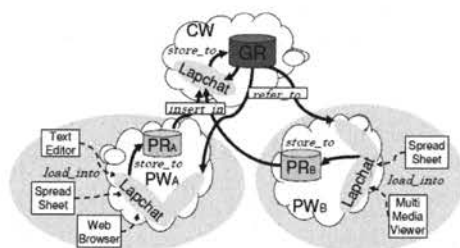


図11 事例2での学習形態

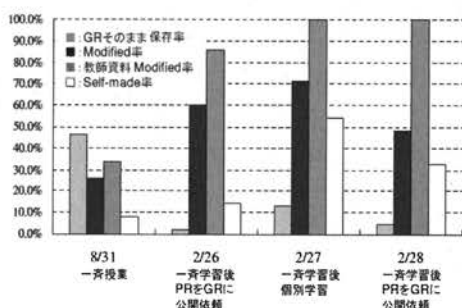


図12 事例2での学習行為の特徴

／教師役参加者が公開した数(Prof.)／学習者が公開した数(Std.)である。例えば、8/31のGRは26のドキュメントが生成され、その内訳は20ドキュメントを教師役参加者が公開、6ドキュメントを学習者が公開していた。また、15名の学習者の各PRの内容として、総数(Total)／GRドキュメントに付記した上で保存されたドキュメント数(Modified)／学習者が独自に生成したドキュメント数(Self-made)を示した。

■考察：集中講義形式での講義であったため、本プラットフォームを短期間に集中して利用した事例であった。講義資料の提示を目的として教師役参加者は講義

期間中継続して本プラットフォームを利用した。学習者に対しては、本プラットフォームの利用は強要せず、利用判断は各人に委ねた。

学習形態のモデルを図11に示す。このモデルの特徴は、PRへのload_into、すなわちSelf-made数として現れる自己生成ドキュメントの存在と、その自己生成ドキュメントのCWへの公開であるinsert_inの関連の存在である。ドキュメント操作の多様性を図11のref{fig}にまとめた。この図には、GRに公開されたドキュメントを追記せずにPRに保存した割合(GRそのまま保存率)、GRに公開されたドキュメントにアノテーションやコメントを追記してPRに保存した割合(Modified率)、特に、教師役参加者からGRに公開されたドキュメントのModified率(教師資料Modified率)、そして自ら生成し、PRに保存したドキュメントの割合(Self-made率)に関して、学習の各回の参加者平均を示している。

結果として全学習者が提案プラットフォームを利用し、GRに公開された講義資料のPRへの取り込み、PRへの参考webページや各自のメモの取り込み等を積極的に行っていた。その様子は図12中のModified率およびSelf-made率の変化からも読み取れる。特に、教師資料のModified率が徐々に高くなっていく。学習者それぞれが各自の方法へのメモを追記している様子が図10の(c)(d)から読み取れる。

6.3 まとめ

本節では、以下の観点から事例成果を考察し、提案技術の教育的効果および技術的効果を検討する。ここでは、「学習参加者が、自発的にかつ繰り返し、個々の学習者独自の方法で、本プラットフォームの機能を用いて、ドキュメント操作を行っていたか」という評価

規準に基づき、各効果の有無を検討する。

■教育的効果

・嗜好に合わせた利用ツールの選択：定量的な基準として、アプリケーションの種類の変異性を用いることとする。事例1と事例2とでGRに取り込まれたアプリケーションは6種であった。PRに取り込まれたアプリケーション種別も同様に6種である。しかしながら、特に事例2では、PR上のドキュメントは各学習者独自のアプリケーションにより生成されていた。例えば、Spread Sheetは4種、Text Editorは7種の変異性がみられた。このことから、学習参加者の嗜好に合わせた利用ツールの選択がなされていた。

・表現メディアの制約が少ない：定量的な基準として、特定課題に対して回答する際に学習者が利用したアプリケーションの種類の変異性とする。特に、事例2において「普通教科情報3科目の関係を図示せよ」との課題に対して、15名の学習参加者はそれぞれの自宅PC内にあるツールを用いて回答を作成し、PRに保存してきた。実に13種のアプリケーション(種別としてはWP, PR, TE, MVの4種。変異性としては、WPが3種、PRが3種、TEが5種、MVが2種)による回答がなされた。学習参加者個々の個人学習空間において、それぞれが利用したいメディアを用いて回答を作成してきた様子が見える。このことから、表現メディアの制約が少ないことを示唆される。

・自己学習の活性化：定量的な基準として、PR内に生成されたModifiedドキュメントの有無を用いる。事例1では11回の講義中8回において、Modifiedが観察されている。事例2においては、4回の講義中すべての回でModifiedが観察されている。また、定性的な基準として、Modifiedドキュメントの内容分析を用いる。図7の(c)-(f)にみられるように、個々の学習者独自の方法で、本プラットフォームの機能を用いて、ドキュメントのModifiedを行っていた。それは、図10の(c)-(f)においても同様に見て取れる。Modifiedドキュメントの生成率は学習展開の仕方により左右され、一概に講義進行と共に増加するとはいえない。しかしながら、事例2のコメント：「正直プレゼン資料の映像が遠くの画面からでは見づらかったので、こうやって身近でみれる&取り込めるというのはとても嬉しかった。」や「自分の端末に学ぶべき内容が表示され、より見やすいノートが作成でき、また理解度も深まるので自分にとってはよかった。」にもあるように、学習参加者が自発的にかつ繰り返し、個々の学習者独自の方法で、本プラットフォームの機能を用いて、ドキュメントのModifiedを行っていた。このことから、自己学習の活

性化が図られたものと考えられる。

・学習への関与の増加：定量的な基準として、学習参加者からGRに公開されたドキュメントの割合、およびSelf-made率を用いる。事例1では、毎回学習参加者からGRにドキュメントが公開されていた。学習形態に起因する行為ではあるが、説明役の学生以外から公開されたドキュメントは、各回30%を超えていた。自身のドキュメントを積極的にGRに公開するという行為から学習への関与の高まりを見出せる。事例2におけるSelf-made率は、毎回必ずプラスの値を示した。特に、3回目の講義時には、全PRの55%がSelf-madeドキュメントとなった。定性的分析として、ドキュメント管理の方法分析を行う。事例1では、学習者は積極的に自身のドキュメント操作を行っていた。特に、オリジナル資料と追記された資料(Modified)、補足説明のためのwebページや自分のメモ等が統一プラットフォームで管理されている効果は大きい。GRには説明者が公開した資料のみならず他の学習者からの質問のためのドキュメント等も公開された。事例2では、講義時間外に、学習者の自宅や研究室等に整備されている特殊なアプリケーションで作成したドキュメントや講義で説明した事柄に関する説明資料等をPRに取り込むなどし、自身の学習ドキュメントの充実を図っていた。これらのことから、学習参加者が自発的にかつ繰り返し、個々の学習者独自の方法で、本プラットフォームの機能を用いてドキュメント管理を行っており、それが学習関与の増加につながっていると推察する。

■技術的効果

個別学習/協調学習/一斉学習におけるシームレスな連携が実現されていたかどうかを考察する。個別学習/協調学習/一斉学習におけるシームレスな連携は、PRとGRとの間でのドキュメント操作の頻度および内容とを基準することとする。事例1および事例2に共通して、学習参加者が自発的にかつ繰り返し、個々の学習者独自の方法で、本プラットフォームの機能を用いて、学習に継続的に参加をしていた。特に、事例1では、GRに公開されたドキュメントの100%がPRに取り込まれ、かつその内の81%-20%に追記が行われている(図9)参照)。また、すべての学習参加者から毎回1回以上のPR内ドキュメントのGRへの公開がなされており、ドキュメントの保存/公開という観点からは、シームレスな連携が実現できていたと考えられる。事例2では、学習参加者はGRに公開されたドキュメントから自らの方針に従って選択的にPRに保存している。教師が公開したドキュメントに関しては、100%をPRに取り込み、かつそれぞれの方法で追記を

行った上で PR に保存している(図 12 参照). PR から GR への公開に関しては, 教師役参加者からの指示に従い全員が複数回にわたり実行している. 一斉授業としての進行に支障がない程度にスムーズなドキュメント公開が実現されていた.

7. おわりに

本稿では, 協調学習環境の構成モデルに基づき, PW/CW とでドキュメントの共有・再利用を汎用的に実現するためのメカニズムを提案した. 協調活動を伴う学習への技術的支援研究に関する研究動向をふまえ, 協調作業を支援対象とし, 円滑な協調行為の実現を, PW/CW でのシームレスなドキュメント操作の実現という観点から目指したものである. スムースな協調活動を実現する汎用的なプラットフォームの設計と実装の結果, 学習者の利用端末の OS および利用アプリケーション, 表現メディアに非依存なドキュメント管理のための協調プラットフォームが実現した. 本プラットフォームによる高等教育機関での教育実践の成果を示し, その教育的意義として, 学習者の学習環境の自由度を高め, 自己学習の活性化と個々の学習者の学習への関与の増加の可能性を見出した.

今後は, 自己学習の活性化と個々の学習者の学習への関与の増加を意識した学習環境の実現を目指し, 本プラットフォームのサービスの充実を図ると共に, 教育実践例を増やし, 適用状況に応じたプラットフォーム運用形態を整理していく.

参考文献

- 1) C.O'Malley(Ed.): Computer Supported Collaborative Learning, Springer-Verlag (1994).
- 2) M.Kayama and T.Okamoto: Collaborative learning in the internet learning space, International Journal of Industry and Higher Education, IEEE, August, pp.1-11(2002).
- 3) C. Plaisant, A. Rose, G Rubloff, R. Salter and B. Shneiderman: The Design of History Mechanisms and Their Use in Collaborative Educational Simulations, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Computer Support for Collaborative Learning, pp.348-359 (1999).
- 4) 香山瑞恵・岡本敏雄: 協調学習での学習資源共有と学習状態再生のためのイベント・データ管理に関する研究, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-I, No.1, pp.45-55 (2005).
- 5) 岡本敏雄: 協調学習技術と関連標準化活動, 情報処理学会情報規格調査会標準化活動トピックス, <http://www.itscj.ipsj.or.jp/topics/collabo.html> (2002).
- 6) ISO/IEC JTC1 SC36 WG2 Japan Expert: Proposal for Working Draft of "Collaborative Workplace", ISO/IEC JTC1 SC36 WG2 Documents N0033 (2002).
- 7) ISO/IEC JTC1 SC36 WG2 Japan Expert: Collaborative Workplace (Working Draft, 2002-09-30), ISO/IEC JTC1 SC36 WG2 Documents N0038 (2002).
- 8) SimPLE: <http://www.isr.umd.edu/CELS/SimPLE/SimPLE.overview.htm>
- 9) J. Zhao and H.U. Hoppe: Supporting flexible communication in heterogeneous multi-user environments, Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, pp.422-229 (1994).
- 10) R. Plotzner, H.U. Hoppe, E. Fehse, C. Nolte and F. Tewissen: Model-based Design of Activity Spaces for Collaborative Problem Solving and Learning, Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education, pp.372-378 (1996).
- 11) B. Goodman, M. Geier, L. Haverty, F. Linton and R. McCready: A Framework for Asynchronous Collaborative Learning and Problem Solving, <http://downloads.openchannelsoftware.org/SAIL-E/SAILE2001.pdf> (2001).
- 12) SAILE: <http://www.openchannelsoftware.org/projects/SAILE/>
- 13) L. Jackson: Concurrent Engineering in Construction-Challenges for the New Millennium-, Proceedings of the 2nd International Conference on Concurrent Engineering in Construction, pp 37-46 (1999).
- 14) Habanero: <http://www.isrl.uiuc.edu/isaac/Habanero/>
- 15) C. Bereiter: Situated cognition and how to overcome it, In D. Kirshner and J.A. Whitson (Eds.) Situated cognition: Social, semiotic, and psychological perspectives, pp.281-300, Hillsdale, NJ (1997).
- 16) CSILE Project: <http://csile.oise.utoronto.ca/>
- 17) CSILE Project in Japan: <http://oshima-1.ed.shizuoka.ac.jp/csilejapan/csilejp.html>
- 18) R. Anderson, R. Anderson, K. M. Davis, C. Prince, V. Razmov and B. Simon.: A study of Digital Ink Student Artifacts to Inform the Scaling of a Classroom Interaction System. University of Washington, Department of Computer Science and Engineering Technical Report 2006-10-02 (2006).
- 19) UW Classroom Presenter: <http://www.cs.washington.edu/education/dl/presenter/> (2006).
- 20) D. Suthers: Architectures for computer supported collaborative learning., IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, pp.6-8 (2001).

研究助成受領者名簿

平成 7 年度	橋本 佳男 清野龍太郎 山本 佳志 石川 正昭 梅崎 健夫	電気電子 物質 生産システム 生産システム 物質	150,000	フランス
			100,000	ハワイ
			100,000	ハワイ
			150,000	カナダ
			100,000	中国
			600,000	
平成 8 年度	中村 正行 橋本 昌巳 川原 琢也 降旗 健治 曹 西 大久保慶治	生産システム 情報 情報 電気電子 社会開発 電気電子	150,000	フランス
			150,000	オーストリア
			150,000	ドイツ
			150,000	イギリス
			150,000	イタリア
			100,000	中国
			850,000	
平成 9 年度	大久保慶治 李 健 田中 伸明 伊東 一典 牛 立斌 邵 長城 榊 和彦 アサノ・デービット・ケン	電気電子 社会開発 物質 情報 生産システム 生産システム 生産システム 情報	135,000	メキシコ
			135,000	米国
			35,000	千葉県
			135,000	米国
			135,000	中国
			135,000	米国
			135,000	フランス
			135,000	オーストラリア
			980,000	
平成 10 年度	萱津 理佳 北原 司 清水 茂 田中 清	情報 情報 社会開発 電気電子	150,000	スロバキヤ
			100,000	中国
			100,000	シンガポール
			100,000	インド
			450,000	
平成 11 年度	邵 長城 池田 清志 伊東 栄次 田中 清 田守伸一郎 武井 重人 和崎 克巳 中村 正行	機械システム 電気電子 電気電子 電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能	115,000	米国
			115,000	フランス
			115,000	米国
			115,000	米国
			115,000	ニュージーランド
			115,000	米国
			115,000	ドイツ
			80,000	中国
			885,000	
平成 12 年度	川村 隆 松原 雅春 山口 朋浩	社会開発 機械システム 物質	150,000	イタリア
			150,000	米国
			150,000	米国
			450,000	
平成 13 年度	伊東 一典 海谷 治彦 榊 和彦 菅 博幸 高瀬 達夫 樽田 誠一 中屋 眞司 牛 立斌 吉野 正人 和崎 克巳	情報 情報 機械システム 物質 社会開発 物質 社会開発 環境機能 機械システム 情報	120,000	米国
			80,000	中国
			120,000	ドイツ
			40,000	横浜市
			80,000	中国
			120,000	米国
			120,000	米国
			80,000	中国
			120,000	フランス
			120,000	ドイツ
			1,000,000	
平成 14 年度	西山 宗雄 辺見 信彦 清水 茂 池田 清志 降旗 建治	社会開発 機械システム 社会開発 電気電子 電気電子	150,000	スペイン
			90,000	韓国
			150,000	ポーランド
			150,000	米国
			150,000	米国
			690,000	
平成 15 年度	阿部 克也 錦織 広昌 海谷 治彦 高瀬 達雄 山口 朋浩 樽田 誠一 大久保慶治 野崎 功一 天野 良彦 榊 和彦	電気電子 環境機能 情報 社会開発 物質 物質 電気電子 物質 物質 機械システム	150,000	フランス
			50,000	奈良市
			110,000	米国
			100,000	韓国
			50,000	名古屋
			50,000	名古屋
			100,000	韓国
			50,000	三重県
			50,000	三重県
			50,000	大阪市
			760,000	

平成 16 年度	辺見 信彦 両角 修四郎 千田 有一 伊東 栄次 和崎 克己 牛 立斌	機械システム 機械システム 機械システム 電気電子 情報 環境機能	150,000	ドイツ 千葉県 台湾 フランス 中国・香港 中国・上海
			50,000	
			100,000	
			150,000	
			100,000	
650,000				
平成 17 年度	池田 清志 清水 茂 新村 正明 國宗 永佳 吉田 尚史 錦織 広昌 アギレ・エルナン	電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能 環境機能 情報	150,000	カナダ ポーランド オーストラリア オーストラリア 三重県 米国 (ハワイ) イギリス
			150,000	
			100,000	
			100,000	
			50,000	
150,000				
150,000				
850,000				
平成 18 年度	高木 直樹 武井 重人	社会開発 情報	150,000	米国 京都市
			50,000	
			200,000	
平成 19 年度	武井 重人 岡田 友彦 高野 拓樹 香山 瑞恵	情報 物質 環境機能 情報	100,000	大韓民国 ポルトガル オランダ・オーストラリア カナダ
			150,000	
			150,000	
			150,000	
			550,000	

「技報 こまくさ」 第7号 平成20年8月発行
(非売品)

発行者 財団法人信州大学工学部若里会
〒380-8553

住 所 長野県長野市若里4丁目17-1
Tel (026) 266-8209 (FAX 共有)
E-mail: wakasat@gipwc.shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 カシヨ株式会社
〒381-0037 長野市西和田1丁目27-9
Tel (026) 251-0510

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複製すると、著作権及び出版権の侵害となる場合がありますのでご注意ください。



(財) 信州大学工学部 若里会