

技 報

こまくさ

K O M A K U S A 発行：平成17年9月

第四号

RF スパッタリングにより成膜した高誘電率薄膜の
有機薄膜トランジスターのゲート絶縁層への応用
—— 電気電子工学科 伊東 栄次

ICO・04 光学関連国際会議に参加して
—— 機械システム工学科 両角 修四郎

極配置制約を付加した周波数整形による
振動絶縁制御器の設計
—— 機械システム工学科 千田 有一

コンバインドサイクル型発電プラント蒸気タービン
ロータ用高純度9% CrMoV 鋼のクリープ破断特性に
及ぼす熱時効の影響
—— 環境機能工学科 牛 立斌

Design Verification for the 3DES Encipher Chip based on
an Extended Petri Net and XML/Java Executor
—— 情報工学科 和崎 克己

新型ジャークセンサの研究
—— 機械システム工学科 辺見 信彦



目 次

「技法こまくさ」第4号発刊にあたって	信州大学名誉教授 財団法人信州大学工学部若里会副理事長	神田 鷹久	2
RF スパッタリングにより成膜した高誘電率薄膜の 有機薄膜トランジスターのゲート絶縁層への応用	電気電子工学科	伊東 栄次	5
ICO・04 光学関連国際会議に参加して	機械システム工学科	両角修四郎	8
極配置制約を付加した周波数整形による振動絶縁制御器の設計	機械システム工学科	千田 有一	11
コンバインドサイクル型発電プラント蒸気タービンロータ用 高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響	環境機能工学科	牛 立斌	14
Design Verification for the 3DES Encipher Chip based on an Extended Petri Net and XML/Java Executor	情報工学科	和崎 克己	19
新型ジャークセンサの研究	機械システム工学科	辺見 信彦	27
研究助成受領者名簿			30

「技報こまくさ」第4号発刊にあたって

信州大学名誉教授

財団法人信州大学工学部若里会副理事長 神田 鷹久

梅雨らしいつゆもなく、今年も異常な気象現象が続いており、信州も昔と異なり、むし暑い日々が続いております。関係各位の皆様いかがお過ごしでしょうか。ご健勝にてご活躍のことと心からお慶び申し上げます。「技報こまくさ」第4号を発行致しました。ご高覧いただければ幸いに存じます。

「技報こまくさ」は創刊にあたって、柳沢理事長が巻頭に述べておりますが、当財団「若里会」は昭和63年に同窓会の更なる発展と諸々の事情を鑑みて発足しました。そして許認可当局の指導のもと、公益性と社会寄与を目的として、情報誌を発行し、現在4号の発刊となっております。もちろん(財)若里会は工学部同窓会を主体とし、その活動の一つとして「信州大学工学部若手研究者助成金」の事業があり、若手教員の研究活動を支援しております。本誌は国際会議において発表した内容を掲載しており、先端的科学技術等に関する情報を広く関係各位に提供し、情報誌として社会に貢献する役割を果たすことを目的としております。

今年は戦後60年を迎え、さまざまな総括が盛んに行われております。工学部同窓会もほぼ時を同じくして発足し、現在16,000人を超す会員数となっております。そして年を重ねる毎に大きく発展してきました。財政的に貧しく、同窓会誌の発行もできない時もありました。このような状況の中で、諸先輩の血の滲み出る努力と尽力により現在に至っています。財政面である程度基盤ができ、所帯が大きくなると、今後その方向性と発展に向けて何をすべきが問われてきます。意見を述べるのは簡単ですが、それを実現する努力と行動が重要であることは言うまでもありません。

大学も、昨年より独立法人化となり、大きな変化を余儀なくされました。今、大学は教育、研究、管理運営そして資金の獲得と一人の研究者ができる限度をはるかに超えた任務を課せられております。資金獲得のためには短期間の成果と応用が義務付けられます。産学官の連携による科学技術の振興および新産業の創出を目的に、プロジェクト人事業がなされることは大変喜ばしいことですが、反面大学のなすべき使命をおろそかにしてはならないと思われます。

信州大学も平成17年度の予算配分が決まり、工学部の教員研究費の大幅な削減が行われたと聞いております。従来 방식は文部科学省の意向で踏襲することは不可能となり、実験系と非実験系の区別がなくなったことが大きな原因です。教員研究費が一人あたり事実上27万円と言われ、外部資金なくして研究は不可能となっておりますとのことです。独立法人化の良し悪しは別として、国のこのような政策が将来何を生み出すか危惧を感じざるを得ません。

このような現状の中で、同窓会の役割は以前に増して重要となってくるものと考えられます。昨年、信州大学同窓会連合会が設立されました。これも独立法人化に伴う大学の生き残り、そして発展のために重要な役割をお願いされたものと思われます。そのためには、同窓会が力を合わせて母校の生き残りに絶大な助言と協力を果すことが必要と思われます。同窓会は、母校があつてはじめて存在するものです。一方、同窓会は社会に開かれた役割を果すことも責務と考えられますが、現時点で成すことは、母校に貢献することが第一と考えられ、結果的にこれが社会への貢献に連なるものと確信しております。先に述べました(財)若里会についても、もう一度原点に戻り、再考することが重要と思われます。

(2005-7 記)



RF スパッタリングにより成膜した高誘電率薄膜の有機薄膜 トランジスターのゲート絶縁層への応用

THE USE OF HIGH K DIELECTRIC FILM PREPARED BY RF SPUTTERING AS INSULATING LAYERS FOR ORGANIC TFT DEVICES

氏名： 伊東栄次、村山哲朗、樋口哲平、宮入圭一

所属：信州大学 工学部 電気電子工学科

発表会議名：2004年固体誘電体に関する国際会議 (ICSD2004)

開催年月日：2004年7月5日(月)～9日(金)

開催場所：フランス共和国トゥールーズ市 ピエレ・バウディス会議場

要旨

酸化タンタル、酸化ニオブ、酸化タンタル/シリコン複合膜の3つの高誘電率材料をRFスパッタリングにより、酸素分圧及び基板(成膜)温度を変えて成膜し、誘電特性と電流-電圧特性を調べた。比誘電率は酸化ニオブが最も大きい(～40) 漏れ電流が大きいのにに対し、酸化タンタルは基板温度や酸素分圧を制御することで比誘電率(～20)、漏れ電流(50nA/cm²@1MV/cm)共に優れた膜が得られた。そこで、基板温度100度、酸素分圧30%の条件で成膜した膜厚200nmの酸化タンタル上に代表的導電性高分子(P型)であるポリチオフェンと電極を形成した薄膜トランジスタ(TFT)を作成し、良好な特性を得た。

1. はじめに

有機半導体の電子材料としての性能指標である移動度が近年アモルファスシリコンをも凌駕するようになってきたことをうけて、近年有機半導体を用いたトランジスタ開発が進められている。有機トランジスタは低温でプラスチック基板上に形成でき、環境に易しく、低コストであるなどの利点を持っている。

本研究ではスピコート法により簡単に薄膜形成可能で移動度が比較的高いことで知られる可溶性のポリヘキシルチオフェン(P3HT)をP型半導体として用いた。また、FETの低電圧駆動実現のため、酸化タンタル、酸化ニオブ、酸化タンタル/シリコン複合膜の3つの高誘電率薄膜(100-300nm)を、ゲート絶縁層として適用するため、誘電体層の成膜条件を変えて成膜してその電気特性を評価した。そして、最適な絶縁層上に上述のP3AT膜及び、ソース・ドレイン電極(Au)を成膜し薄膜トランジスタ(TFT)構造とし、その電気特性を評価した。

2. 実験方法

ガラスもしくは片面ITO付ガラスを基板として

用い、その上にAlを蒸着、ITOについては臭化水素酸によりエッチングして下部電極(ゲート電極)を形成した。その後、RFスパッタリング装置によりTa、Nb及びTa₂O₅/SiO₂ターゲット(4inφ)から誘電体層を形成した。なお、ガス圧は10mTorrで一定とし、酸素分圧を(O₂/(Ar+O₂))を(0)、15%、30%及び45%、成膜(基板)温度については100、250及び400℃とそれぞれ変えて行った。成膜時間は1時間、スパッタ時の電力は50Wであった。絶縁層の評価はこの上にAl電極を形成したキャパシタ構造とし、真空中にて誘電特性や電流-電圧特性から評価した。キャパシタの電極面積は10mm²である。TFTはゲート絶縁層上にP3HTをクロロホルム溶液に溶かしてスピコート法にて成膜し、最後にシャドウマスクを用いてソース・ドレイン電極としてAuを蒸着した。なお、ソース・ドレイン電極の総面積は4mm²、チャンネル長とチャンネル幅はそれぞれ20μm、2mmである。P3HTは水や酸素の影響を受けやすいためTFTは電気特性は真空中で一度熱処理してから室温にて測定した。

3. 結果と考察

表1はTa、Nb及びTa₂O₅/SiO₂ターゲットから

得られた酸化タンタル、酸化ニオブ、酸化タンタル／シリコン複合膜の各成膜条件下での静電容量、得られた膜厚および比誘電率の換算値と $\tan \delta$ をまとめたものである。表から酸化タンタル膜は比誘電率が 20 程度と高く、損失の指標である $\tan \delta$ が小さく誘電体薄膜として優れていることが分かる。一方、酸化ニオブの比誘電率は酸化タンタルのそれよりも高く、特に 400°C で成膜した場合 40 近くと高いが損失が高いことが見て取れる。酸化タンタル／シリコン複合膜は損失は低い比誘電率が低く十分な酸化条件の下ではわずか 6 程度であった。

表 1 各種誘電体のターゲット材料、成膜条件と得られた膜厚及び 1 kHz における静電容量、比誘電率と $\tan \delta$.

Target	O ₂ /(Ar+O ₂) [%]	T _s [°C]	C _{INS} [nF]	d _{ox} [nm]	ϵ_r	$\tan \delta$
Ta	15	100	6.5	280	20.0	0.008
Ta	30	100	6.8	255	19.6	0.002
Ta	45	100	7	250	19.8	0.006
Ta	30	100	6.8	255	19.6	0.002
Ta	30	250	6.5	260	19.1	0.004
Ta	30	400	6	290	19.7	0.006
Nb	30	100	10	250	28.3	0.05
Nb	30	250	12	200	27.1	0.05
Nb	30	400	18	190	38.7	0.08
SiO ₂ +Ta ₂ O ₅	0	100	4.2	200	9.5	0.005
SiO ₂ +Ta ₂ O ₅	15	100	2.6	240	7.1	0.003
SiO ₂ +Ta ₂ O ₅	30	100	2.3	240	6.2	0.003

図 1 は酸化タンタル薄膜の成膜時の酸素分圧を変えて電気伝導特性を比較したものである。膜厚はいずれも 250nm 前後である(表 1)。図から、30%を超

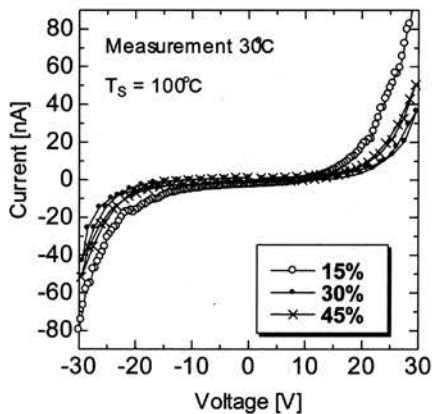


図 1 酸化タンタル薄膜の電気伝導と酸素分圧の関係

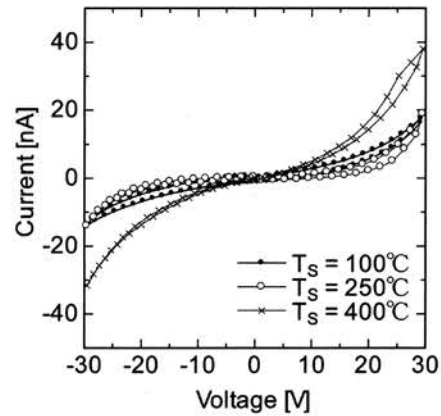


図 2 酸化タンタル薄膜の電気伝導と成膜温度の関係

える酸素を導入すると電流は酸素分圧を増やしてもこれ以上減らないことがわかる。一方、成膜温度については図 2 のように 400°C まで上昇させるとむしろ電流が増加してしまった。有機 TFT はフレキシブル基板上への成膜を目標としていることから、100°C で絶縁性が得られることはむしろ望ましいと考えられる。また、電気伝導は温度に大きく依存しており、カーブフィッティングから高電界下での伝導は欠陥等を介したプールフレンケル型の伝導であると考えられる。

図 3 は酸化タンタル／シリコン複合膜の電気伝導特性と成膜時の酸素分圧の関係を示す。元来ターゲットが酸化されているので酸素なしでスパッタしたところ、誘電率は大きいけれども電流が大きく、一部脱酸化して金属的になった箇所が高誘電率及びもれ電流を大きくしたと考えられる。一方、酸素を 15% 導入して膜形成するともれ電流は十分に押さえられたが、酸化タンタルのそれとあまり変わらないことから、誘電率の高い酸化タンタルをゲート絶縁層と

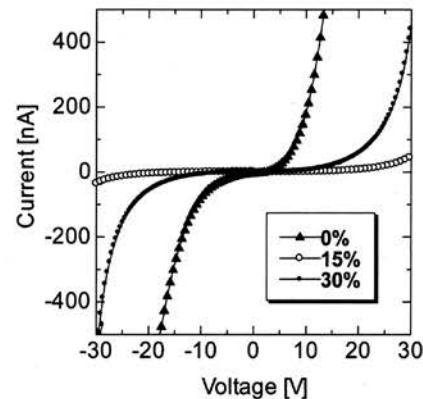


図 3 酸化タンタル／シリコン複合膜の電気伝導と酸素分圧の関係

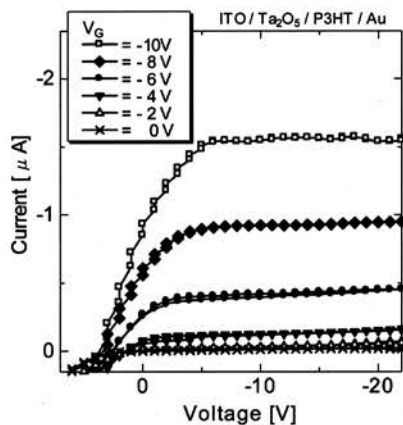


図4 酸化タンタル上に形成したP3HT有機FETの出力特性

して用いた方が絶縁層の等価膜厚が薄くなるため望ましいと考えられる。なお、酸化ニオブについても同様の評価を行ったところ、酸化ニオブは絶縁体よりもむしろN型半導体として機能することが分かった。

図4に、比誘電率が大きく絶縁性も高い膜厚200nmの酸化タンタル上にP3HTを形成して得られたTFTの出力特性を示す。図から、漏れ電流も若干見られるが良好な飽和特性とドレイン電流が得られていることが分かる。また、低誘電率である高分子絶縁材料をゲート絶縁層に用いた素子では駆動電圧が-40V程度必要であったのに対して、酸化タンタルをゲート絶縁層に用いた場合は-5V程度での動作が確認でき、素子動作のための閾値電圧とP3HT(半導体)の移動度はそれぞれ-2V及び $2.8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と見積もられ従来の報告例と比べても良好な特性が得られた。

結論

酸化タンタルは基板温度や酸素分圧を制御することで比誘電率(～20)、漏れ電流($50 \text{ nA/cm}^2 @ 1 \text{ MV/cm}$)共に優れた膜が得られ、この上に代表的導電性高分子(P型)であるポリチオフェンと電極を形成した薄膜トランジスタ(TFT)を作成し、良好な特性を得ることができた。

謝辞

旅費の一部は財団法人信州大学工学部若里会より援助していただいた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] C.D. Sheraw, L. Zhou, J.R. Huang, D.J. Gundlach, T.N. Jackson, M.G. Kane, I.G. Hill, M.S. Hammond, J. Campi, B.K. Greening, J. Francl, J. West, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 80, pp. 1088-1090, 2002.
- [2] H. Sirringhaus, N. Tessler, R.H. Friend, *Science*, vol.280, pp. 1741-1744, 1998.
- [3] Z. Bao, A. Dodabalapur, A. J. Lovinger, *Appl. Phys. Lett.*, vol 69, pp. 4108-4110, 1996.
- [4] S. Scheinert, G. Paasch, M. Schrödner, H.K. Roth, and S. Sensfuß, Th. Doll, *J. Appl. Phys.*, vol. 92, pp. 330-337, 2002.
- [5] J.Yuan, J. Zhang, J. Wang, X. Yan and D. Yan, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp.3967-3969, 2003.
- [6] Y. Iino, Y. Inoue, Y. Fujisaki, H. Fujikake, H. Sato, M. Kawakita, S. Tokito and H. Kikuchi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, pp. 299-304, 2003.
- [7] S. Banerjee, B. Shen, I. Chen, J. Bohlman, G. Brown, and R. Doering, *J. Appl. Phys.*, vol. 65, pp. 1140-1146, 1989/
- [8] S. Ezhilvalavan and T. Y. Tseng, *J. Appl. Phys.*, vol. 83, pp. 4797-4801, 1998.
- [9] Y.S. Yang, S.H. Kim, S.C. Lim, J-I Lee, J. H. Lee, L.M. Do, and T. Zyung, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 83, pp.3939-3941, 2003.
- [10] Z. Bao, V. Kuck, J. A. Rogers, M.A. Paczkowski, *Advanced Functional Materials*, vol. 12, pp. 526-531, 2002.

ICO・04 光学関連国際会議に参加して

両角 修四郎

工学部 機械システム工学科

この国際会議は、国際光学委員会 (International Commission for Optics, 略称 ICO) の主催によって、2004年に千葉市幕張メッセにて、7月12日から15日までの4日間、開催された。この種の会議は、10年毎に日本で開催され、今回は他の光学関係の会議と同時開催であった。会議の主題は、“先端技術における光学とフォトンクス (Optics and Photonics in Technology Frontier)”であった。参加者の人数は圧倒的に日本人が多く、登録名簿から日本人322名、次に主なところでアメリカ人18名、ドイツ人10名、中国人8名、フランス人3名であり、アメリカは光学大国といわれているが意外に参加者が少なかった。この傾向は、過去の国際会議でも同様であった。今度の会議で印象に残ったことを記して見たい。

ICO主催による国際会議は、在職中、1974年(東京)、1984年(札幌)、1994年(京都)および今回の会議を含めて4回参加した。その目的は、研究の優先権を一時も早く得るとか、アピールするとかのおおそれたものではなく、世界的な研究の動向、方法、自分の研究の意義など把握するのが主目的であった。研究経験を重ねるにつれて各国独自の、または外国人の個人的な研究の手法や傾向なども分かってきて批判的に見れるようにもなった。日本人以外の著名な研究者にも会い大きな刺激を受け、研究を継続して行く際の支えにもなった。

光学は古い学問でギリシャ時代に始まり、現代物理学においては、分光学を初めとして要所要所で重要で基本的な役割を担ってきた事は周知のとおりである。特に、近年においては、ノーベル賞の対象になった、レーザーおよびホログラフィーの原理の発明は他の分野にも多大なインパクトを与え、これらに関連する研究は、光学の分野だけにとどまらず、光学以外の分野にも魅力ある研究対象として拡大していった。これまでのICOの国際会議でもこれらの研究は多く発表され、基本的なことは、瞬く間に研究し尽くされていった。蛇足ながら、筆者も運良くホログラフィーという新領域の分野に遭遇し関心をもって研究することができ、数編の論文を書けたことは大変幸福なことであると思っている。

さて、このような研究の隆盛・流行の中にあつて、

それを追うことなく、光学にとって基本的な研究を営々と続けている学者がいるのである。このような研究者は、傾向として欧米に多いようである。彼らは、一度狙った研究テーマをひたすらに執念深く追求する。欧米におけるノーベル受賞者の数の多さは、このような研究者の心情・精神が背景として存在するように思われる。この精神は、幾世紀にも亘って積み重ねられた、学問研究の方法や知的情報を尊重する社会的伝統のなかで育まれたものであろう。

ここで、このような研究者のタイプとして、米国ロッチェスター大学、物理学・天文学部門および光学研究所における世界的に著名な学者、Emil Wolf教授を挙げることができる。彼は現在83歳になるにも拘らず、れっきとした現役の研究者である。世界の光学研究者の座右の書として用いられ、論文に頻繁に引用される名著、「Principles of Optics (Pergamon Press)」の、Max Born (ノーベル受賞者) との共編者になっており、数年毎に光学関係のトピックス中心にまとめた成書、「Progress in Optics (North-Holland)」の編者でもある。彼は、若い頃から、光学にとって基本的な、光波や電磁波の統計的性質等について興味をもって営々と研究を続けている。

Emil Wolfが行った、この分野の最初の研究は、光波の部分的コヒーレントを取り扱ったもので、「B. J. Thompson and E. Wolf, "Two-Beam Interference with Partially Coherent Light", J. Opt. Soc. Amer., 47 (1957) 895-902.」の論文である。この論文は、Thomas Youngが約160年前の1801年に、光は波動であることを初めて示した干渉実験の一般化であった。さらに、彼はこのテーマを勢力的に展開し、1987年には、コヒーレント光は空間を伝播することによってそのスペクトルが変化することを示している「Emil Wolf, "Non-Cosmological redshifts of spectral lines", Nature 326 (1987) 363-365.」。この研究の前後にも多数の同種の論文が発表されている。ここで、Emil Wolfの研究精神は、最後に掲げる、今国際会議における冒頭の招待講演の要旨から伺い知ることができる。

欧米人に一般に見られる、このような、基本を徹底的に執念深く追求する研究精神は、長期的視野に

立って考えれば、現代の科学技術を飛躍的に進展させるには不可欠なものであろう。そして、この精神は、独創的精神と何か強く結びついているようにも思われる。日本においても、科学技術立国を目標にかかげているからには、このような研究者が多数出現するのを助長するような社会的環境の醸成も必要となる。

当工学部においても、電気電子工学科の遠藤教授は、ノーベル賞候補に何回かノミネートされ、社会

的に大きな話題になり信州大学の誇りとなった；これは彼の約 30 年前のグラファイトファイバーに関する研究が、現在のカーボンナノチューブの発見に繋がったのである。大学は平成 16 年度から法人化されたが、大学として一番本質的な、このような真実探求の研究精神を醸成するような環境を創造するという役割は、何よりも優先させなければならない。これが大学として生き残る唯一の道かもしれない。

Interference, Coherence and Polarization

Emil Wolf

Department of Physics and Astronomy
and

The Institute of Optics
University of Rochester, Rochester, NY 14627, USA

The principle of interference of light was discovered by Thomas Young almost exactly two hundred years ago. It was undoubtedly one of the most important discoveries in the history of optics, having played a major role in the establishment of the wave theory of light.

In this lecture we will first show how Young's two-slit interference experiment, by means of which the principle of interference was demonstrated, has played and is still playing a central role in two important branches of statistical optics, namely in the theories of coherence and of polarization of light. We will then briefly outline a recently developed unified theory of coherence and polarization of random electromagnetic beams. The new theory will be illustrated by some examples of its uses. In particular we will show how it elucidates the changes that the degree of polarization of a light beam may undergo as it propagates through the turbulent atmosphere, a subject of considerable current interest in connection with communication with light beams, for example. We will also show how the theory can be used to design liquid crystal light modulators to generate sources of prescribed coherence properties.

1. E. Wolf, "Unified Theory of Coherence and Polarization of Statistical Electromagnetic Beams", *Phys. Letts. A* 312, 263-267 (2003).
2. E. Wolf, "Correlation-induced Changes in the Degree of Polarization, the Degree of Coherence and the Spectrum of Random Electromagnetic Beams on Propagation", *Opt. Letts.* 28, 1078-1080 (2003).
3. H. Roychowdhury and E. Wolf, "Determination of the Electric Cross-Spectral Density Matrix of a Random Electromagnetic Beam", *Opt. Commun.* 226, 57-60 (2003).
4. O. Korotkova, M. Saleh and E. Wolf, "The Far-zone Behavior of the Degree of Polarization and Partially Coherent Beams Propagating Through Atmospheric Turbulance", *Opt. Commun.*, in press.
5. T. Shirai and E. Wolf, "Coherence and Polarization of Electromagnetic Beams Modulated by Random Phase Screens and their Changes on Propagation in Free Space", submitted to *J. Opt. Soc. Amer. A*

極配置制約を付加した周波数整形による振動絶縁制御器の設計

Vibration Isolation Controller Design by Frequency Shaping with Pole Placement Constraints

氏名：千田 有一¹，石原 義之¹

所属：¹ 信州大学 工学部 機械システム工学科

発表会議名：制御応用に関する国際会議（2004 IEEE International Conference on Control Applications）

開催年月日：2004年9月2日（木）～4日（土）

開催場所：圓山大飯店，台北市（台湾）

要旨

本論文では、振動絶縁機構に対するアクティブ制御問題について考える。システムに加わる外乱周波数が既知の場合には、 H_∞ 制御などによる周波数整形によって特定周波数での絶縁性能を高めることは容易である。一方、振動系制御対象にたいして十分な減衰特性を持たせるためには、ロバスト安定度指定法の併用などが一般的であるが、本問題の場合、重み関数極が不安定な不可観測モードとなるために、標準 H_∞ 制御理論の枠組みでは併用できない。そこで、この問題点を回避するため、美多、劉らによって提案された拡張 H_∞ 制御を用いることを考える。対象としたシステムは、実システムを想定した 2 慣性ばねマス実験装置である。まず、拡張 H_∞ 制御の可解条件を満たす拡大系を示し、次に閉ループ極を望ましい領域に配置した解が得られることを示す。制御性能は実験によって検証を行った。

1. はじめに

機械系の振動絶縁には、パッシブ機構による方法とアクティブフィードバック制御による方法がある。アクティブ制御によれば、より高性能な振動絶縁が可能となる [4]。たとえば、回転機械では回転数に同期した振動成分が主となるが、アクティブ制御によれば回転周波数近傍の絶縁性能を高めることは容易である [2]。しかしながら、古典的な制御系設計手法では、制御器のチューニングは試行錯誤によるため見通しも悪かった。これにたいして、 H_∞ 制御理論に基づく周波数成形手法によれば、見通しよく設計可能となるが、その反面、制御系の極を任意の位置に配置できないため、制御応答に振動的な応答が残ってしまうというデメリットが発生する [1]。これにたいして、従来は、 H_∞ 制御とロバスト安定度指定法を併用して問題を解決していたが、本問題の場合には標準的な H_∞ 制御の可解条件を満たさないために、適用できない。そこで、拡張 H_∞ 制御理論 [3] の適用を検討し、本問題に適用可能であることを示すとともに、実験によって制御効果を確認した。

本論文は、拡張 H_∞ 制御理論を実応用問題に初めて適用した点、拡張 H_∞ 制御が可解となる問題設定方法を示した点、特定の周波数振動を除去する振動絶縁システムの効果を高めた制御設計が可能であることを例

題を用いて示した点において有用である。

2. 制御対象と振動絶縁制御問題

制御対象は、図 1 に示す実験システムである。運動方程式は次式となる。

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + K_1 l_1^2 (\theta_1 - \theta_2) + C_1 l_1^2 (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + C_2 \dot{\theta}_1 = f + d \quad (1)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + K_2 l_2^2 \theta_2 + K_1 l_1^2 (\theta_2 - \theta_1) + C_1 l_1^2 (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) = -f \quad (2)$$

ここで J_1, J_2 は慣性モーメント、 K_1, K_2 はバネ定数、 C_1, C_2 は粘性定数、 l_1, l_2 はバネの連結部と回転中心の距離、 θ_1, θ_2 は回転角である。 J_1 内部に固定されたモータにより、 J_1 と J_2 に相互作用的に制御入力 f (回転力) を加える。また、外乱トルク d は下部モータにより J_1 に加えられる。このシステムは、二つの共振モードを持った振動系となっている。振動外乱 d が J_1 に加わると、 J_1 と同時に J_2 も振動する。 J_2 の振動はバネ K_2 を介して外部に伝達する。そこで、制御力 f を用いて、 d による振動が J_2 に伝わらないように振動絶縁する。つまり、外乱 d に対して、回転角 θ_2 の変位を抑える。

本制御対象は、1 次共振モード、2 次振動モードとして 0.65[Hz]、9.13[Hz] に共振周波数をもつ。制御対象モデルのボード線図を図 2 に示す。簡単のため、振動外乱として 3[Hz] の単一周波数正弦波 $d = A \sin 6\pi t$

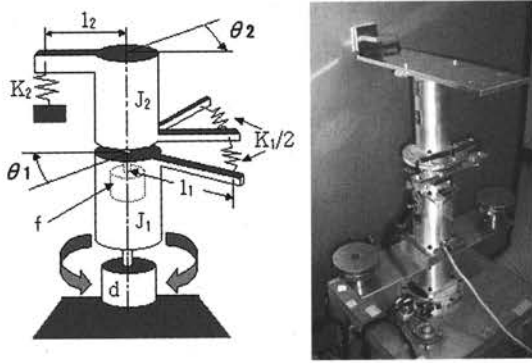


図 1: Experimental system

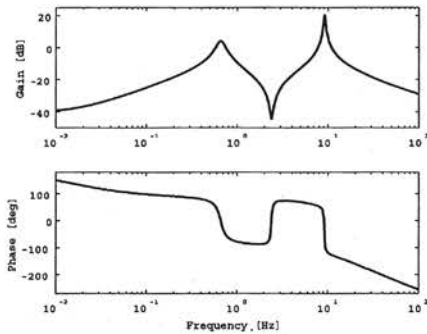


図 2: Bode plot of controlled system

を想定した。以下では、次の制御系設計目標を達成する制御器を設計する。

[制御系設計目標]

1. 共振減衰性：0.65[Hz]と9.13[Hz]の共振モードに適切な減衰を付加する。
2. 振動絶縁性：3[Hz]近傍の狭帯域周波数外乱の影響を θ_2 に伝達しない。
3. 制御応答性：虚軸近傍の閉ループ極を回避し、適当な領域に配置する。

リアルタイム制御系はPCとカウンタボード、D/Aボードを用いて構築し、サンプリング周期10[ms]のデジタル制御系とした。回転角は各軸に搭載したロータリエンコーダで検出し、数値的な差分演算により相対速度 $\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2$ を求める。

3. 拡張 \mathcal{H}_∞ 制御による制御系設計

本問題の場合には、振動系を対象とした場合に常套的に用いられている手法である標準 \mathcal{H}_∞ 制御とロバスト安定度指定法の併用が不可能であった。そこで、拡張 \mathcal{H}_∞ 制御とロバスト安定度指定法を併用して振動絶縁制御系を設計する。

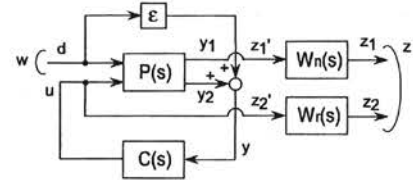


図 3: Augmented system for pole placement \mathcal{H}_∞ design

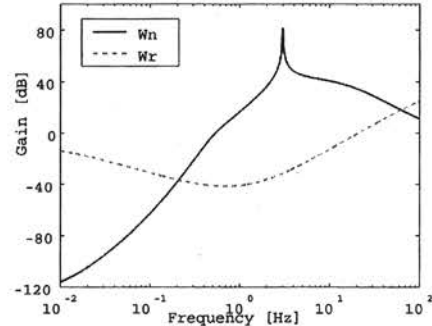


図 4: Gain of weighting functions

制御系設計のためには拡大形を設定する必要があるが、拡張 \mathcal{H}_∞ 制御理論では標準 \mathcal{H}_∞ 制御以上に拡大形にたいする条件が厳しい。そのため、図3に示す拡大形を用いた。詳細は省略するが、図3の拡大形の設定によって、拡張 \mathcal{H}_∞ 制御問題の可解条件を満たすことができる。図中、 $P(s)$ は制御対象、 $C(s)$ は制御器、 ϵ および $W_n(s)$ と $W_r(s)$ は制御系の性能を指定するための重み関数である。また、 d は機械振動として加えられる単一周波数外乱である。 $y_1 = \theta_2$ は先端の回転角度を意味しているので、 d から y_1 までの伝達ゲインが小さくなるようにできれば、その周波数での振動外乱を絶縁できる。その絶縁性能は、重み関数である $W_n(s)$ で指定する。用いた重み関数は以下の通りである。ただし、 ξ_i, ζ_i, ω_i は表1に示す。

$$W_r = \frac{3.0 \cdot 10^3 (s+10)^2}{(s+1000)(s+1005)} \cdot \frac{1/3s+10}{1/0.06s+1000} \quad (3)$$

$$W_n = \frac{0.281(s+0.1)^2}{(s+100)(s+101)} \prod_{i=1}^3 \frac{s^2 + 2\xi_i \omega_i s + \omega_i^2}{s^2 + 2\zeta_i \omega_i s + \omega_i^2} \quad (4)$$

$$\epsilon = 10^{-5} \quad (5)$$

図4に重み関数のゲイン線図を示す。3[Hz]での振動絶縁性能を高めるため、 $W_n(s)$ には3[Hz]に急峻なゲインのピークを持たせてある。また、安定度は $\alpha = 2.4$ とし、すべての閉ループ極を $s = -2.4$ 未満の左半平面内に配置するように設定した。これにより、減衰性の悪い振動極を回避した設計が可能となる。

表 1: Parameters of $W_n(s)$

ξ_1	7.0	ζ_1	0.004	ω_1	$3.00 \cdot 2\pi$
ξ_2	100.0	ζ_2	0.5	ω_2	$0.50 \cdot 2\pi$
ξ_3	50.0	ζ_3	1.75	ω_3	$9.0 \cdot 2\pi$

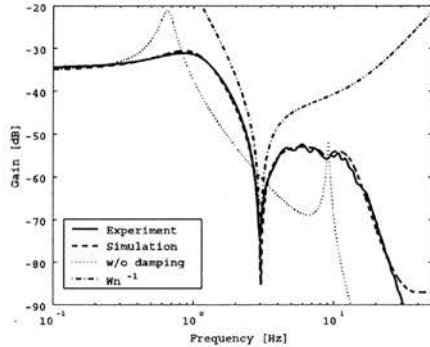


図 5: Gain plot from d to θ_2

4. 実験結果

以上の手順で制御器を設計した。図 5 に d から $y_1 = \theta_2$ までの閉ループ系周波数応答を示す。実線が同定実験結果、破線が計算機シミュレーションの結果である。点線は制御対象の周波数応答であり、一点鎖線は W_n^{-1} を表す。外乱周波数である 3[Hz] における振動絶縁性能がフィードバック制御によって大幅に改善されている。また、実験結果と計算機シミュレーションの結果は非常によく一致していることがわかる。とくに、3[Hz] での振動絶縁性能は、制御前の性能（点線）より大幅に改善されている。このことは、減衰なしのパスシブ系よりも高い性能を実現していることを意味している。

つぎに、 θ_2 の時間応答を図 6 に示す。実線と破線はそれぞれ、 \mathcal{H}_∞ 制御器による実験、およびシミュレーションの結果である。また、点線は定数フィードバック制御器による実験結果である。設計した制御器は、所期の振動絶縁性能を達成していることが確認できる。また、実験結果は、定常状態で二次モードがノイズにより励振されている点を除き、おおむねシミュレーション結果と一致している。以上の結果から、得られた制御器は所期の制御仕様を満たし、期待した振動絶縁性能を持つことが検証できたといえる。

5. おわりに

本論文では、狭帯域の周波数外乱が加わるシステム

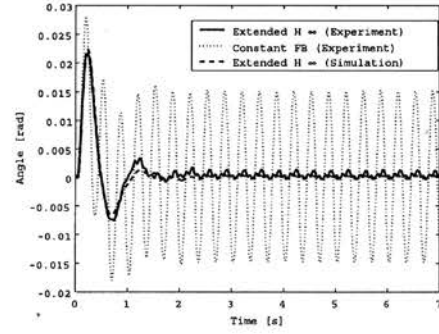


図 6: Time response (Output)

における振動絶縁制御問題について考え、拡張 \mathcal{H}_∞ 制御とロバスト安定度指定法を組み合わせた手法によって性能向上可能であることを示した。制御性能は実験によって検証した。拡張 \mathcal{H}_∞ 制御については、応用例は報告されておらず、その意味からは拡張 \mathcal{H}_∞ 制御の実用性を示したといえる。本論文ではロバスト安定度指定法を併用したが、LMI 手法を用いた方法によれば、よりきめ細かく極配置を行うことが可能である [5]。

参考文献

- [1] 千田, 石原, 翁, 古川, 大富: 狭帯域周波数外乱に対するアクティブ振動絶縁制御; 日本機械学会論文集 C 編, 第 71 巻, 第 705 号, pp. 1537–1543 (2005)
- [2] F. Otsuki, H. Uematsu, Y. Nakamura, Y. Chida, O. Nishimura, K. Ohtomi & M. Tanaka: Vibration isolation control of centrifuge rotor; *Proc. of the 5th International Conference on Motion and Vibration Control*, pp. 415–420 (2000)
- [3] 美多, 忻欣, 富山, B.D.O.Anderson: 拡張 \mathcal{H}_∞ 制御— \mathcal{H}_∞ サーボ問題と推定問題の統一的解法—; *SICE 論文集*, Vol. 33, No. 7, pp.654–664 (1997)
- [4] L.A. Sievers & A.H. von Flotow: Linear control design for active vibration isolation of narrow band disturbances; *Proc. of the 27th CDC*, pp. 1032–1037 (1988)
- [5] 石原, 千田: 極の領域を制限した拡張 \mathcal{H}_∞ 制御の LMI 解法とその応用; *SICE 第 33 回制御理論シンポジウム資料*, pp. 51–56 (2004)

コンバインドサイクル型発電プラント蒸気タービンロータ用 高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響 Aging Effect on Creep Rupture Properties of Super-clean 9%CrMoV Steel for Steam Turbine Rotors of Combined Cycle Power Plants

牛 立斌*、小林光征**、高久 啓*、東 司***

* 信州大学工学部環境機能工学科

** 信州大学名誉教授

*** (株) 日本製鋼所室蘭研究所

工学塑性およびその応用に関するアジア太平洋地区シンポジウム
(The Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and Its Applications)
2004年9月22日～2004年9月26日 中国・上海交通大学

概要

本研究では発電プラント蒸気タービンロータの寿命支配因子の一つである熱劣化に焦点を当て、新規開発材の高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響を調査した。実験の結果、熱時効による高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断強度の低下は極めて小さいことが明らかになった。クリープ破断した試験片の破面および縦断面の観察およびクリープによる微細組織の変化等に基づき、クリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響を検討した。本研究の結果より、高純度 9%CrMoV 鋼は高温・長時間供用による熱劣化の点において極めて優れていることが分かった。

1. はじめに

近年、火力発電プラントにおいては、ガスタービン発電の廃熱を蒸気タービンの駆動力に利用するコンバインドサイクル型発電が普及しつつある¹⁾。発電効率を上げるため、蒸気タービンを回す蒸気の温度と圧力を一層高める必要があり、各方面で高温化に対応したロータ用鋼の開発がなされている。しかし、更なる過酷な高温環境下で長期使用に耐えられる理想な鋼はまだ少ない。高温・経年使用による組織の劣化およびそれによるクリープ強度などの低下は蒸気タービンロータ用材料の設計において常に重要な課題である。このような背景のもと、コンバインドサイクル用蒸気タービンロータ材として高純度 9%CrMoV 鋼が開発された。この鋼は従来の鋼に比べて良好な強度-靱性バランスを有する²⁻⁴⁾が、本材料の高温・経年使用による微細組織の熱安定性およびクリープ強度等の熱劣化挙動はまだ解明されていない。

本研究では、蒸気タービンロータの寿命支配因子の一つである熱劣化に焦点を当て、高純度

9%CrMoV 鋼に対する熱時効処理を行い、実機使用最高温度の 566°C でクリープ破断試験を行った。クリープ破断試験後の試験片については、破面や縦断面を走査型電子顕微鏡 (SEM) と透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて詳細に観察し、クリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響を調査・検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材ならびに熱時効処理

新規開発されたコンバインドサイクル型発電プラント蒸気タービンロータ用高純度 9%CrMoV 鋼を供試材とした。Table 1 に高純度 9%CrMoV 鋼の化学成分を示す。この供試鋼は実機サイズの試作高低圧一体型ロータの高圧部 $\phi 1200\text{mm}$ 表層より切り出したものである。受領材は、ロータの調質処理として 1075°C に均一加熱後の油焼入れを施した後に 580°C で 36h 加熱保持してから炉冷および 650°C で 60h 加熱保持してから炉冷の 2 回の焼戻しを行った熱履歴を有する。

本研究では蒸気タービンロータの使用壽命支配因子の一つである熱劣化に焦点を当て、受領材に実機

蒸気温度 566°Cで 10 万時間の使用に相当する加速的な時効処理、すなわち、630°Cで 748h 保持した後の炉冷を施した。熱時効処理の条件は以下の Hollomon⁹⁾や Larson¹⁰⁾が提案した温度-時間パラメータを参考にして決定した。

$$T(C+\log t)$$

ここで、 T は絶対温度、 C は材料定数、 t は時間である。また、材料定数 C はこの鋼に関しては 25 を用いた。

本研究では、受領材とその熱時効材をそれぞれ AS0 鋼および AS1 鋼と称する。

2.2 実験方法

AS0 鋼および AS1 鋼に対しては、微細組織観察およびそれらの力学的特性を調査した後、クリープ破断試験を実施した。クリープ破断試験は、平行部長さ 30mm、直径 6mm の丸棒試験片を使用し、実機蒸気温度 566°Cで大気中に行った。試験温度は、試験片平行部の中央付近に取り付けた熱電対により $\pm 1^\circ\text{C}$ に制御した。

クリープ破断した試験片については、破断部を肉眼で観察するとともに、破面および破断部の縦断面を走査型電子顕微鏡 (SEM) により破壊モード観察や透過型電子顕微鏡 (TEM) により微細組織の変化を詳細に調査した。

3. 結果および考察

Fig. 1 に受領材 AS0 鋼ならびに熱時効材 AS1 鋼の TEM 組織写真を示す。AS0 鋼ならびに AS1 鋼のいずれもラス状の焼戻しマルテンサイト組織を呈しており、加速熱処理を施したことによる微細組織上の大きな変化が見られない。室温および実機使用の蒸気温度 566°Cにおける両鋼の力学性質を Table 2 に示す。熱時効処理を施したことにより高純度 9%CrMoV 鋼の力学的性質が僅かに低下したことが確認された。

566°Cにおける AS0 鋼ならびに AS1 鋼のクリープ曲線を Fig. 2 に示す。両鋼ともほぼ同様なクリープ破断ひずみを示し、熱時効によるクリープ延性の低下が示されない。また、両鋼のクリープ破断寿命を Fig. 3 に示し、熱時効材 AS1 鋼のクリープ破断強度は受領材 AS0 鋼に比べ若干低下したが、大差が見られない。

クリープ破断した試験片の破面と縦断面を SEM により詳細に観察した。本研究では、AS0 鋼と AS1 鋼の全ての試験片がくびれの発生を伴い、延性的な「カップアンドコン」型クリープ破壊モードを示し

た。566°C、300MPa の負荷応力下で破断した試験片のクリープ破断面写真を例として Fig. 4 に示す。Fig. 5 に同破断試験片の縦断面 SEM 写真を示し、破断部近傍に大きなクリープ変形により結晶粒が細長く変形した様子が観察された。また、AS0 鋼と AS1 鋼の試験片内部には、熱時効およびクリープ試験による粗大炭化物や第 2 相粒子の析出が明瞭に顕れなかった。

フェライト系耐熱鋼のクリープ破断強度に影響する主な因子に基づき、本研究の結果を検討した。一般的に、多くのフェライト系耐熱鋼に高温時効およびクリープによる粗大炭化物や第 2 相粒子の析出がし易く、その近傍にクリープポイドの発生・成長がクリープ強度に大きく影響を及ぼすことが知られている⁷⁻¹⁰⁾。本研究では、熱時効材と受領材の材料微細組織を観察した結果、不純物元素を低減させる高純度化によって、熱時効材組織内部の炭化物などの析出・粗大化がほとんど見られなかった。また、熱時効およびクリープによる組織の回復現象がフェライト系耐熱鋼のクリープ破壊と密接に関連するものと報告されている¹¹⁻¹²⁾が、本研究に用いた AS0 と AS1 の両鋼とも旧オーステナイト粒界近傍における組織の回復も確認されなかった。以上のことより、高純度化によって炭化物などの析出および旧オーステナイト粒界近傍における組織の回復が有効的に妨げられ、長時間熱時効によるクリープ強度の低下が抑制された。一方、熱時効材のラス状マルテンサイト内部の転位密度が若干低下したことが高倍率 TEM 像により確認され、本研究における熱時効材のクリープ破断強度の僅かな低下はそれによるものと推測される。

4. おわりに

本研究ではコンバインドサイクル型発電プラント蒸気タービンロータ用高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響を調査した。受領材および熱時効材を用いたクリープ破断試験は、蒸気タービンを回す実機蒸気温度 566°Cで大気中に行った。実験の結果、熱時効による高純度 9%CrMoV 鋼のクリープ破断強度の低下は極めて小さいことが明らかになった。クリープ破断した試験片の破面および縦断面の観察を SEM と TEM による詳細に観察し、クリープ破断特性に及ぼす熱時効の影響を検討した。本研究の結果より、高純度 9%CrMoV 鋼は高温・長時間供用による熱劣化の点において極めて優れていることが分った。

謝 辞

本論文を発表するにあたり、財団法人信州大学工学部若里会から多大なるご支援をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 森谷新一、堀三千男、松隈雅治、青柳和雄、井上雅賀、能勢正見：火力原子力発電, 41(12), (1990), p.1620.
 [2] T.Azuma, Y.Tanaka, T.Ishiguro, H.Yoshida and Y.Ikeda: Steel Forgings, Vol.2, ASTM STP 1259, ed. by E.G. Nisbett and A.S. Melilli, ASTM, West Conshohocken, (1997), p.330.
 [3] 東司、田中康彦、石黒徹、池田保美、吉田一、舟崎光則、村井悦夫、尾崎信彦：日本製鋼所技報, No.51 (1995), p.14.

- [4] 東司、田中康彦、山田人久、石黒徹、池田保美、吉田一、村井悦夫、尾崎信彦、中島敏史：日本製鋼所技報, No.53 (1997), p.1.
 [5] J.H. Hollomon and L.D. Jaffe: Trans. AIME, Vol.162 (1945), p.223.
 [6] F.R. Larson and J.Miller: Trans. ASME, Vol.74 (1952), p.765.
 [7] K.R. Williams and B.Wilshire: Met. Sci. Eng., Vol.47 (1981), p.151.
 [8] C.W. Weaver: J. Inst. Met., Vol.88 (1959-60), p.296.
 [9] R.Rai and M.F. Ashby: Acta Metall., Vol.23 (1975), p.653.
 [10] S.E. Stanzl, A.S. Argon and E.K. Tschegg: Acta Metall., Vol.31 (1983), p.833.
 [11] 松尾孝、木佐貫哲也、田中良平、小松周一：鉄と鋼, 70(6), (1984), p.565.
 [12] 木村一弘、木佐貫哲也、小松周一、松尾孝、田中良平：鉄と鋼, 71(15), (1985), p.1803.

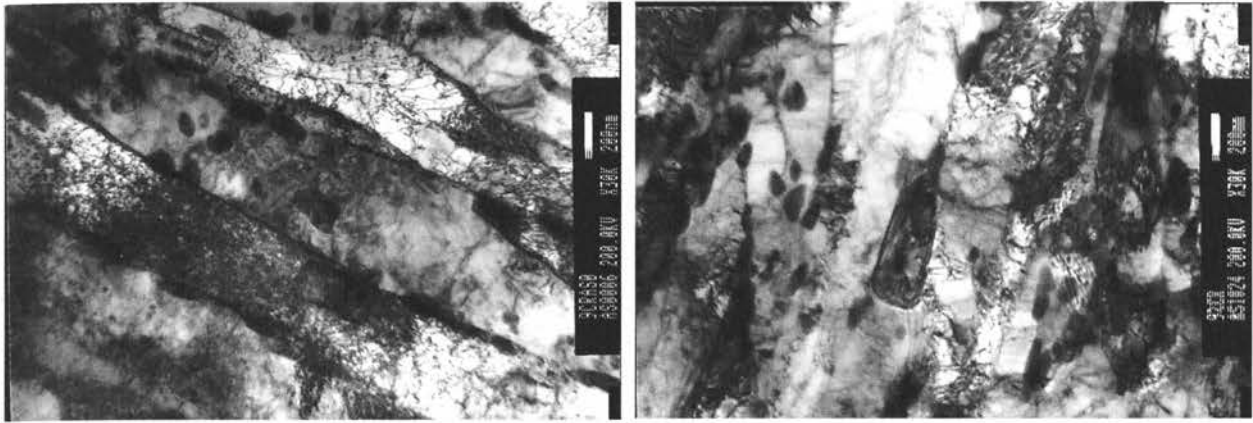
Table 1. Chemical compositions of the Super-clean 9%CrMoV Steel.

mass%

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Nb	N	P, S, Al, As, Sn, Sb, O
0.15	0.09	0.09	1.21	9.69	1.35	0.22	0.05	0.05	0.0397	Super-clean

Table 2. Mechanical properties of the as-received (AS0) and aged (AS1) super-clean 9%CrMoV steels at room-temperature and 566°C.

Temperature	Steel	σ_y [MPa]	σ_B [MPa]	ϵ_u [%]	ϵ_t [%]	ϕ [%]
R.T.	AS0	765	857	6.6	17.6	55.8
	AS1	683	804	6.5	19.0	61.5
566°C	AS0	477	503	1.4	26.2	83.9
	AS1	446	474	1.5	27.1	84.8



(a) As-received steel (AS0) 400nm (b) Aged steel (AS1)

Fig. 1. TEM images showing the microstructures of the as-received and aged super-clean 9%CrMoV steels.

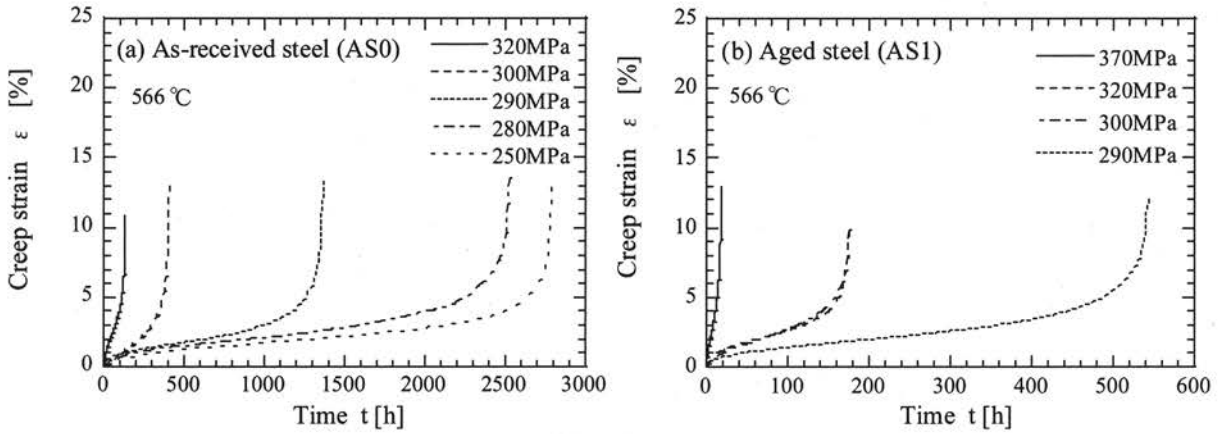


Fig. 2. Creep curves of the AS0 and AS1 steels at 566°C.

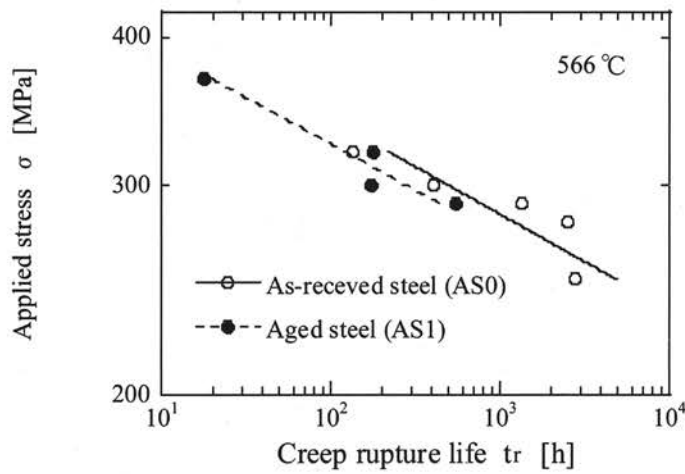
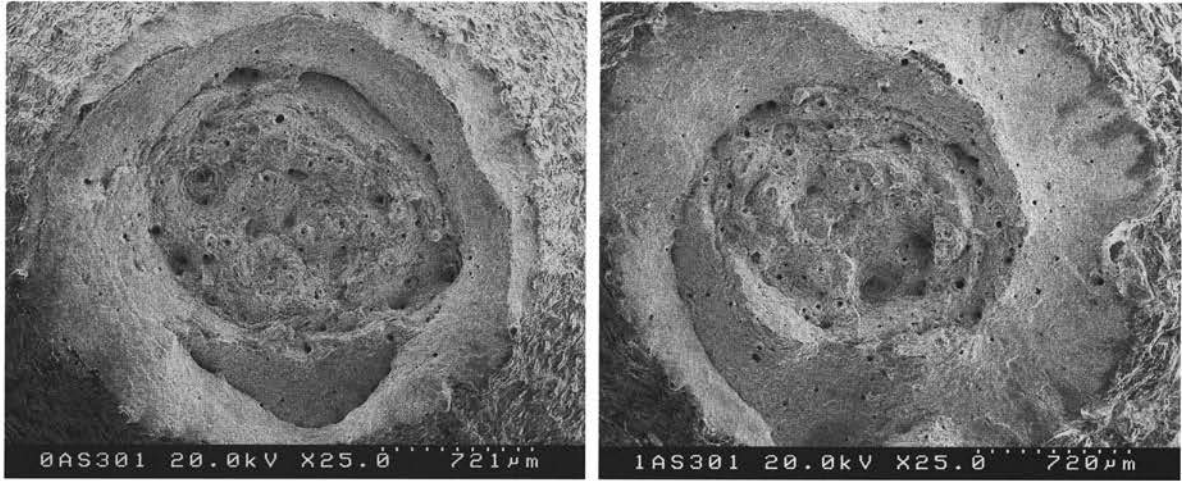
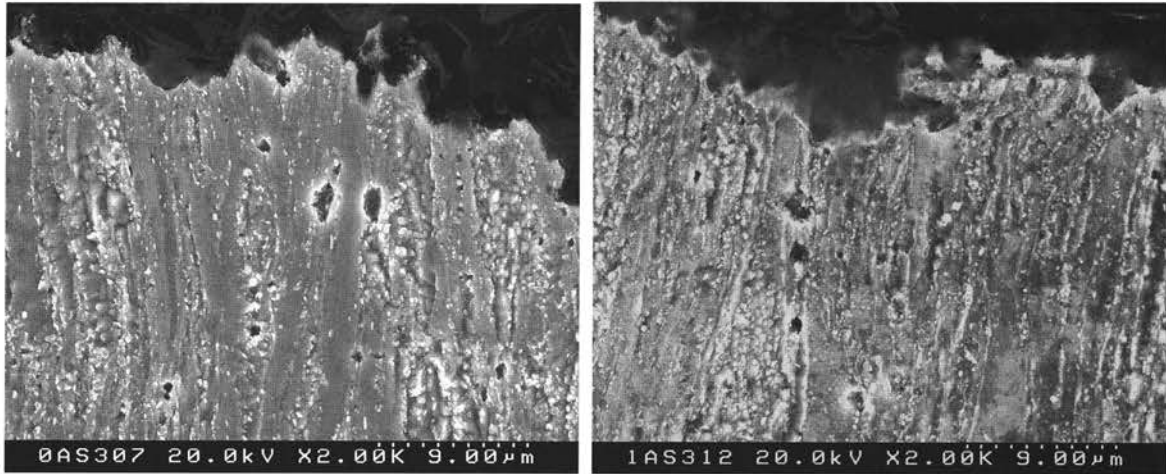


Fig. 3. Creep rupture lives of the AS0 and AS1 specimens at 566°C.



(a) As-received steel (AS0) 0.5mm (b) Aged steel (AS1)

Fig. 4. Appearances of creep fracture surfaces of the specimens ruptured under 300MPa.



(a) As-received steel (AS0) 6.0µm (b) Aged steel (AS1)

Fig. 5. SEM micrographs showing the longitudinal sections near fracture surfaces of the specimens ruptured under 300MPa.

Design Verification for the 3DES Encipher Chip based on an Extended Petri Net and XML/Java Executor^{*}

Shin'nosuke Yamaguchi¹ Akira Nishino² Katsumi Wasaki² Yasunari Shidama³

¹Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

²Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

³Faculty of Engineering, Shinshu University

Abstract: In this paper, we propose a new method for the design of parallel systems, based on an extended logical colored Petri net (LCPN). An LCPN is an extended Petri net that solves the problem of system description found in previously-proposed place/transition nets and colored Petri nets. This extension of Petri nets is suitable for designing complex control systems and for discussing methods of evaluating such systems realistically. To study the behavior of a server system modeled with this net, we simulated a Java program. The simulation confirmed that this extended Petri net is an effective tool for modeling parallel calculation systems.

1. Introduction

In the design of system software, as systems become more complex, there are many costs associated with the evaluation due to the following problems:

- Various programming errors, or bugs, may simply be introduced
- Verification of compliance with specifications is difficult
- Tracing control flow/software is difficult for anyone other than the original programmers

Descriptive models of sequence control using Petri nets have become attractive due to their simplicity [1]. A Petri net (PN) is a graphical model that facilitates the understanding of control flows. The mathematical nature of the PN can be used to obtain behavioral information of systems that operate in a dynamic environment, especially if time or safety factors make actual simulations of a system impracticable. Study of the relationships between the mathematical objects of a PN can resolve conditions such as deadlocks, traps, and reachability of marking

states, which aids the verification of system operations.

For the design of parallel systems, many modeling techniques adopting the PN concept have been announced. PNs are suitable for describing the characteristics of parallel systems, and, once a PN model has been created, it can be easily analyzed. When designing time-independent systems, an effective approach is the use of place/transition nets (another term for PNs). For more complex target systems, colored Petri nets (CPNs)[2] (or high-level Petri nets) are used in the design. Conventional PNs and CPNs have been applied to system design and analysis in many areas. Examples include hardware design (Jensen [2]), deadlock verification of Ada programs (Murata et al. [3]), factory automation control (Nagao et al. [4]) and computer system models (Miller [5]).

There is a problem when PNs and CPNs are actually applied to describing control systems. The operation of these nets (firing conditions of transition and movement of tokens) is uniquely determined. It is therefore necessary to use many transitions and place elements to represent branching of the conditions in processing and, as a result, the net size increases.

First, this paper introduces the concept of the logical colored Petri net (LCPN) [6] as an ex-

^{*}The Eighth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2004, held in Kai Wah Plaza International Hotel, Kun-ming, China on December 6-9, 2004.

tended net with the following improvements. Marks have data (colors) and firing conditions are given by an arbitrary logical expression, which is written in terms of the presence of marks in input places, and the data values of the marks. The mark output at firing is decided using a function based on the data values of the marks in the input places. Therefore, transitions and places added because of condition branching are reduced and the net scale is also reduced [7].

Then we propose a new method of implementation for parallel systems, namely an engine program reading data from a net model based on the extended PN and eXtensible Markup Language (XML). We use this technique to develop software for a 3DES accumulator based on LCPN, in order to estimate its effectiveness. The advantage of this new distributed extended PN is that we can reduce the cost of design, programming and on-site testing to below the development cost using conventional methods.

2. Definition of an Extended Petri Net

In this section, we show the definition of a logical colored Petri net (LCPN), which can be used to improve the descriptive capabilities of conventional PNs and CPNs. Specifically, marks in the LCPN have data (colors), and firing conditions are given by an arbitrary logical expression that is written in terms of the presence of marks in the input places and the data values of those marks. A CPN is similar, but we can not ascribe "OR" and "NOT" to a transition as its firing condition. This feature greatly simplifies the expression of the divergent conditions in a system. Once an LCPN model is developed, it can be analyzed using reachability trees and simulations [8].

Definition *LCPN: A logical colored Petri net is a tuple of sets $N_E = (S_E, T_E, F_E, M_E)$ that satisfies each of the following conditions:*

- (1) Let $S_E = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ and $T_E = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ be the sets of the place and transition elements respectively. Let $F_E = \{f_1, f_2, \dots, f_l\} \subseteq (S_E \times T_E) \cup (T_E \times S_E)$ be the

set of arcs from places to transitions and transitions to places.

- (2) The marking of each place $s_i \in S_E$ ($i = 1, 2, \dots, n; n = |S_E|$) can take the value of a natural number from 0 to N. This is denoted by $\mu(s_i)$. We assume $\mu(s_i) = 0$ if there is no (empty) marking on s_i . Here, we define the function μ as $\mu: S_E \longrightarrow \{0, 1, 2, \dots, N\}$.
- (3) The capacity (maximum number of marks) of each place s_i is 1. The set of all possible markings from (1) and (2) is represented as a mapping from S_E to $\{0, 1, 2, \dots, N\}$. Therefore we define the Cartesian product set M_E as $M_E = \{0, 1, 2, \dots, N\}^{S_E}$.
- (4) *t_j represents the set of all places (input places) which have an arc extending to $t_j \in T_E$ ($j = 1, 2, \dots, m; m = |T_E|$). Similarly, t_j^{\cdot} represents the set of all places (output places) with an arc extending from t_j .
$${}^*t_j = \{s \in S_E : (\exists f)(f \in F_E, f = (s, t_j))\}$$

$$t_j^{\cdot} = \{s \in S_E : (\exists f)(f \in F_E, f = (t_j, s))\}.$$
- (5) The firing evaluation of a transition t_j for an arbitrary marking $\mu \in M_E$ examines the firing condition Φ^j . $\Phi^j(\mu|t_j)$ is described by a logical expression in terms of the state $\mu|t_j$ of the places that belong to *t_j and is used to determine the next marking $\mu' \in M_E$.

t_j is called firable if Φ^j is evaluated and found to be true. If t_j is fired, a marking is removed from each place in *t_j . Places in t_j^{\cdot} depend on the state of *t_j and are modified by the following C^j .

$$C^j: \{0, 1, 2, \dots, N\}^{t_j} \longrightarrow \{0, 1, 2, \dots, N\}^{t_j}$$

if $\Phi^j(\mu|t_j)$ is true then

$$\mu' = \begin{cases} 0 & : \text{on } t_j - t_j \\ C^j(\mu|t_j) & : \text{on } t_j \\ \mu & : \text{otherwise} \end{cases}$$

Conversely, t_j is not firable if Φ^j is false. Then the state $\mu' = \mu$ is unchanged.

We can show the next marking resulting from a transition evaluation as a mapping f^j from state $\mu \in M_E$ of the places to $\mu' \in M_E$.

3. Implementation of the Net Model in Java and XML

In this section, we outline the design of parallel systems based on the extended PN (LCPN) that we have proposed.

First, we show how to design a net model based on the specification using LCPN. In this development method, we choose to design the LCPN net model using a PN design tool named “Renew” (The Reference Net Workshop)[9], which is based on Java class technology. This tool can translate the connectivity of a net model to a Java class that can be called to evaluate the transitions and generate the net structure as XML-format data files. We can check the accuracy of the net model for this structure (e.g., deadlock and traps) by simulation, using this tool. Next, we transfer the net model to an XML file.

Finally, we check the target model in XML data files using the engine program. This engine program is described in the Java2 language and operates on the structure of the net model by reading the net structure file. In this way, we can check whether the net model satisfies the specification. We aim to design a parallel system efficiently by this method.

3.1 The XML Data Structure of the LCPN

First, we here describe the XML data structure of the LCPN. Figure 1 shows the tree of the structure of the LCPN in XML.

“RELAX”[10] which is one of the schema languages for XML is used to define the structure for the LCPN in XML. We can then automatically generate its source programs for an engine program using “Relaxer”, a Java program tool which operates on XML files defined by RELAX framework. We use this source code for the engine pro-

gram to produce the program code efficiently.

The net structure shown in Figure 1 is composed of “LcPlace”, “LcTransition”, “Mark” and “LcArc”. All elements have their own unique ID attribute to enable the engine program to distinguish between them. We show the details of each element as follows:

3.1.1 LcPlace

This element contains the information for a place. It has the “inMark” element that shows the ID of a mark in the place. The “attribute” shows that the place is able to be connected to a place in another net model.

3.1.2 LcTransition

This element contains the information for a transition. It has the element “fire”, which shows the firing condition and operations of the transition, and “connection”, which shows the arc to connect with the transition. The element “fire” has two parts named “condition” and “work”.

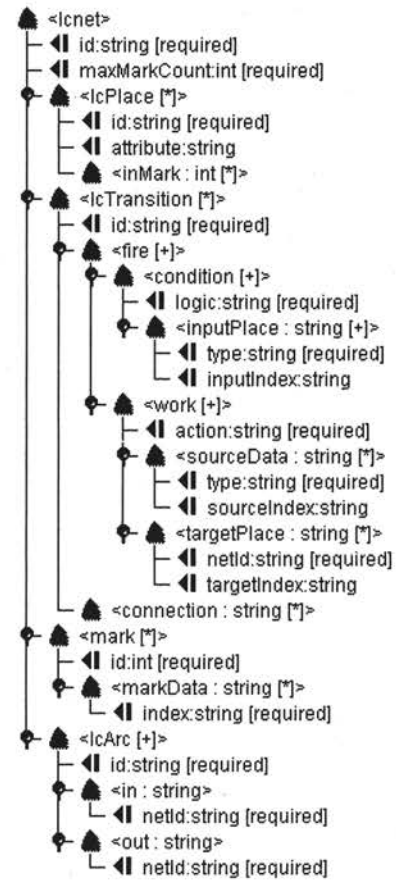


Figure 1. The XML Data Structure of the LCPN

The *“condition”* element describes the firing condition in terms of the attribute named *“logic”*. The *“logic”* attribute is expressed in terms of logical operators. Examples of operators are: a mark exists in the place (*“exists”*); values of two marks are equal (*“equality”*); one value is (*“larger”* or *“smaller”*).

The *“condition”* contains the element named *“inputPlace”*. This identifies the place in terms of *“type”* and *“inputIndex”*. These values are used when the engine program checks the firing condition of a transition. For example, if the *“logic”* in a transition is *“exists”*, the transition can fire when the place shown by *“inputPlace”* has a mark. This *“condition”* example is simple, but if we need to design a complex firing condition in a net, we express this by using a complex *“condition”* in one of the *“fire”* elements.

The *“work”* element defines the firing of the transition. The *“action”* attribute describes its behavior when the transition fires. There are two elements named *“sourceData”* and *“targetPlace”*. *“sourceData”* shows places and attribute of data which is used to define the transition fires. *“targetPlace”* defines the point where the transition outputs a mark. The *“NetId”* attribute in *“targetPlace”* gives the net identity of the output place, and usually it is *“root”*.

The firing operation shown by *“work”* may be simple, such as a mark moving to another place (*“move”*), copying a mark to another place (*“copy”*), removing a mark (*“remove”*), or adding to the value in some marks (*“add”*).

If we need a complex operation in the net model, we use *“work”* to express it. Because we are using the Java language for the source code of the engine program, the engine program is able to call Java’s class file. Therefore, we can describe complex operations in the XML file of the net model.

3.1.3 Mark

The *“mark”* element has *“markData”* that shows the color and structure of the mark. Each *“markData”* is distinguished by an attribute of *“markData”* called *“index”*. *“sourceIndex”* in *“sourceData”*, *“targetIndex”* in *“targetPlace”* and

“inputIndex” in *“inputPlace”* show the *“index”* of *“MarkData”* for the engine program to use in checking the firing condition.

3.1.4 LcArc

This element has the information concerning an arc. The elements *“in”* and *“out”* show the input place or transition, and their output. The *“NetId”* attribute identifies the net of the transition or place, and usually it is *“root”*.

3.2 Advantages of using a PNML-like XML data structure

By using this XML data structure, which is developed from the system specification, the engine program can easily process the firing logic information. A net model designed by the *“Renew”* tool is converted to XML data, whose structure is based on the Petri Net Markup Language (PNML). We are able to convert between PNML data structure and our XML data structure by using simple program. In this conversion, the ID, basic logic for the transition (e.g., *“exists”* and *“remove”*), and non-colored marks in the net model are generated. However, we have to show additional logic for the transitions and data structures of marks in the transfer program. We ascribe the logic and a mark’s color to appropriate elements of the net model as strings using functions available in the *“Renew”* tool. The transfer program describes other logic and marks’ color in the XML file by reading strings in the net model.

3.3 Executing the program using Java

Here, we describe the operation of the engine program.

First, we prepare another XML file for the engine program to operate upon. This XML file is not a net model itself, but it contains some information about net models that the engine program uses in simulation. We call this XML file a *“Net Set”*. Each net model supplies its *NetId* to the NetSet data file. Moreover, the Net Set contains the information concerning the net model and its initial marking. We describe the connection of the net model by two places, in XML. The engine program connects two places with a tran-

sition and two arcs and operates on the Net Set. These places must contain “input” or “output” in *attribute*. The engine program connects to “output” place from “input” place in the simulation.

We describe the operational steps of the engine program as follows:

1. Read the XML file of the Net Set;
2. Connect each XML data of the net model based on this description;
3. Set an initial marking in the net model based on the description;
4. Check whether transitions in the net model are able to fire;
5. Choose a transition that is able to fire at present;
6. Fire the transition and execute the actions of the transition;
7. Repeat the transition-firing check

The choice of firing transitions by the engine program is arbitrary. Therefore, the simulation is able to cover all situations in net models.

4. Example of a Parallel 3DES Accumulator using LCPN

In this section, we describe a system design example, namely a 3DES Accumulator based on LCPN.

The Data Encryption Standard (DES) cryptogram is an encoding algorithm announced in 1975 [11]. The DES cryptogram encodes a plain sentence in 64 bits by a key in 56 bits. Figure 2 shows the one-stage operation of the DES cryptogram. In function f , the sentence is replaced by eight arrays (S box). The DES cryptogram iterates same operation for 16 times. However, the key length is only 56 bits, making the basic DES cryptogram insecure against present-day efficient super computers. Therefore, we use a 3DES

cryptogram that operates three times, using three keys.

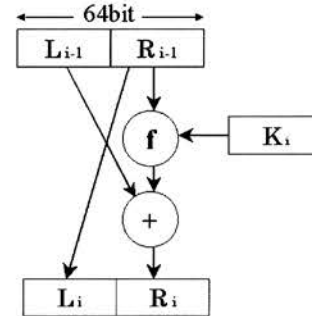


Figure 2. One stage of the DES cryptogram.

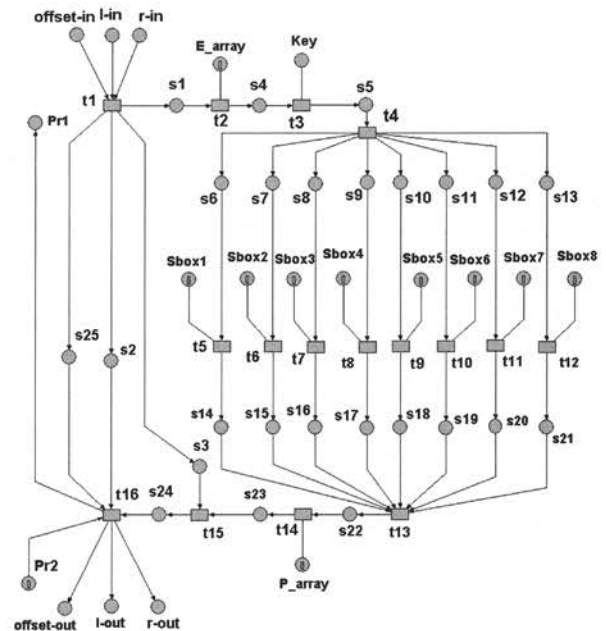


Figure 3. LCPN Example of a Parallel DES Accumulator(subnet).

4.1 One stage of the DES algorithm

Figure 3 shows an example of a parallel DES accumulator with LCPNs designed by the “Renew” tool [12].

We are attempting pipelining of the 16 stages by separating the processing controlled by places Pr_1 and Pr_2 . While the file contents are being encoded, information on the file is handled separately. The engine program connects these two places.

```

<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE NetSet SYSTEM "NetSet.dtd">
<NetSet WorkGroup="3DES accumulator">
  <NetData id="1key-start"
    index="..Ykey-start.xml"/>
  <NetData id="1des-start"
    index="..Ydes-start.xml"/>
  <NetData id="1des1"
    index="..Ydes1.xml"/>
    :
  <NetData id="3des16"
    index="..Ydes1.xml"/>
  <NetData id="3des-end"
    index="..Ydes-end.xml"/>
  <NetConnect>
    <Cplace netid="des-start"
      placeId="1-out"/>
    <Cplace netid="des1" placeId="1-in"/>
  </NetConnect>
    :
  <NetConnect>
    <Cplace netid="2des-end"
      placeId="end"/>
    <Cplace netid="3des-start"
      placeId="start"/>
  </NetConnect>
  <InitialMark netId="des-start"
    placeId="start">
    <initialData name="index1">
      0
    </initialData>
  </InitialMark>
    :
</NetSet>

```

Figure 4. The XML Net Set for 3DES accumulator example.

4.2 Operation and evaluation of the 3DES accumulator

We design two net models: the key generator and the one-stage DES. Additionally, we design another three net models. These net models are *des-start*, *des-end* and *key-start*. They operate on the first or last transposition of each array. We generate XML files of all net models by the transfer program, and we make the XML Net Set file for the 3DES accumulator. We then operate the engine program to check these net models.

In this example XML file, we describe three net models of the DES accumulator, information about the net model's connection, and its initial mark. The net model of one 16 x 3-stage 3DES pipeline for encryption file system code/decoding required 2533 places, 1122 transitions, and 4086

arcs. Figure 4 shows part of the XML file, namely the one-stage DES net model, generated from Figure 3.

```

<lcPlace id="start" attribute="plane">
  <inMark>96</inMark>
</lcPlace>
<mark id="96">
  <markData index="index1">
    0
  </markData>
</mark>
  :
netId="1des-end"

<lcPlace id="end" attribute="plane">
  <inMark>120</inMark>
</lcPlace>
<mark id="120">
  <markData index="index1">
    -8311870395893341273
  </markData>
</mark>
  :
netId="2des-end"

<lcPlace id="end" attribute="plane">
  <inMark>1</inMark>
</lcPlace>
<mark id="1">
  <markData index="index1">0</markData>
</mark>
  :
netId="3des-end"

<lcPlace id="end" attribute="plane">
  <inMark>78</inMark>
</lcPlace>
<mark id="78">
  <markData index="index1">
    -8311870395893341273
  </markData>
</mark>

```

Figure 5. The result of the operation of the engine program.

For the 3DES accumulator, we have a special *work* that operates on array data, the *S-box* transposition, namely the transposition of bit data by array, in the engine program for the simulation. We show part of the result for the engine program in Figure 5. In this result, we can confirm that the output of the second stage is the same as the input data, namely 0. And the output of the first stage is the same as the output of the final stage. Moreover, the result is the same as

the output of other DES programs on the same data and key. Therefore, we can confirm that this net model operates correctly via the engine program.

The simulation on the engine program involves 1369 reachable transitions. In the present version of the program, the engine program operates on only one transition at once for checking and firing. Therefore, the simulation takes many iterations with this engine program. We have to consider using multi-thread operations for the engine program to shorten the simulation time. In addition, the Java language cannot use 64-bit unsigned data, so that if the leftmost bit of the data is 1, the engine program estimates it to be value 0. We have had to solve this problem by dividing the data values.

We can find structural errors in the design a net model easily, by simulation via the "Renew" tool. And we have confirmed that we can design and implement parallel systems at low cost. At present, the engine program and the transfer program have weak error-checking. However, we guess that we can strengthen these checking systems by using the specification of PN.

The engine program is able to use some pre-designed net models such as class files. Therefore, we are able to design complex parallel systems more efficiently by including these net models.

5. Conclusions

In this research, we propose a new method for parallel system design using an extended PN. In this method, we develop an engine program operating on the structure of a net model specified as XML data. As an example, we designed the net model of a 3DES accumulator as an LCPN. We analyzed and tested the net model using a PN tool. We made an automatic transfer from the PN tool to the XML data for our engine program.

However, there remain some problems in the engine program. In order to check some transitions for some multi-thread operations, it creates the required control and system design.

We intend to develop another program to gen-

erate Hardware Description Language (HDL) source code from the XML file of the net model, to enable system implementation.

In the future, we plan to study further the operation of LCPN, and improve it for application to Computer Aided Software Engineering (CASE) tools for computer systems development.

References

- [1] T. Murata: "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proc. IEEE, Vol.77, No.4, pp.541-580, 1989.
- [2] K. Jensen: "Coloured Petri Nets, Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use", Vol.1, Basic Concepts, Springer-Verlag, 1992.
- [3] T. Murata, B. Shenker and S.M. Shatz: "Detection of Ada Static Deadlocks Using Petri Net Invariants" IEEE Trans. Softw. Eng. Vol.15, No.3, pp.314-326, 1989.
- [4] Y. Nagao, H. Ohta, H. Urabe and S. Kumagai: "Petri Net Based Programming System for FMS" IEICE Trans. Fundamentals. Vol.E75-A, No.10, pp. 1326 - 1334, 1992.
- [5] R.E. Miller: "A Comparison of Some Theoretical Models of Parallel Computations", IEEE Trans. on Computers, Vol.C-22, No.8, pp.710-717, 1973.
- [6] K. Wasaki, Y. Fuwa, M. Eguchi and Y. Nakamura: "Extended Petri Nets for Control System Software", Technical Report of IEICE, COMP93-12, SS93-6, pp.37-44, 1993.
- [7] K. Wasaki, Y. Fuwa, M. Eguchi and Y. Nakamura: "Capacity of the Logical Colored Petri Net (LC-net) as a CASE Tool", Technical Report of IEICE, CAS93-69, pp.101-108, 1993.
- [8] P.N. Kawamoto, Y. Fuwa and Y. Nakamura: "Basic Concepts for Petri Nets with Boolean Markings", Journal of Formalized Mathematics, Vol.4, No.1, 1993.
- [9] Renew: The Reference Net Workshop, <http://www.renew.de/>
- [10] RELAX official site, <http://www.xml.gr.jp/relax/>
- [11] "Data Encryption Standard", National Bu-

reau of Standard, Federal Information Processing Standards Publications, No.46, 1997.

- [12] S. Yamaguchi, K. Wasaki and Y. Shidama: "Verification and Realization for the Distributed Parallel Systems based on An Extended Petri Net and XML/Java Executor", Proceedings on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA2003), Vol.1, No.D-3, pp.157-168, 2003.

新型ジャークセンサの研究

A STUDY OF NEW TYPE JERK SENSOR

氏名：辺見信彦¹，明石慎²，田中道彦¹

所属：¹信州大学工学部機械システム工学科、²信州大学工学系研究科機械システム工学専攻

発表会議名：第8回生産における計測と品質管理に関する国際シンポジウム (8th ISMQC)

開催年月日：2004年10月12日(火)～10月15日(金)

開催場所：ドイツ連邦共和国 エアランゲン

エアランゲン－ニュルンベルグ大学

要旨

圧電素子を用いた新しいジャークセンサを開発した。ジャーク（加加速度）とは加速度の時間微分値であり、運動の急峻さを表す指標の一物理量である。従来はジャークを測定する有効なセンサがなかったため、加速度センサの信号を微分したり、さらにそれから推定したりする方法が取られることが多かった。本研究では、圧電素子を用いた簡易で小型な新しいサイズモ系ジャークセンサを提案し開発することを目的とする。本報では測定の原理を紹介し、実験により基本的な特性を調査する。センサの固有振動数以下の範囲内ではゲインと位相ともに良好な周波数特性を得られることを示し、本測定原理の有効性を示す。

1. はじめに

ジャーク（加加速度）とは加速度の時間微分値であり、運動の急峻さを表す指標の一物理量である。ジャークは自動車やエレベータなどのような人員を運搬する機械の場合には、乗っている人間の感じる乗り心地などに影響を与える量である。そのためジャークは加速度と同様に、運動や振動の制御をするためのフィードバック信号の一つとして利用されることもある。従来はジャークを測定する有効なセンサがなかったため、加速度センサの信号を微分したり、さらにそれから推定したりする方法が取られることが多かった¹⁾。ジャークを検出するために、ジャイロセンサと片持ち梁の弾性変形を利用したセンサや振り子と変位センサと電磁石とを利用したセンサなどが研究されているが、本質的に感度を高くすることができなかつたり、構造と検出方法が比較的複雑であるなどの問題があった。これまでは効果的で簡易なジャーク検出用のセンサは開発されていなかった。

本研究では、圧電素子を用いた簡易で小型な新しいサイズモ系ジャークセンサを提案し開発することを目的とする。本報では測定の原理を紹介し、実験により基本的な特性を調査する。センサの固有振動数以下の範囲内ではゲインと位相ともに良好な周波数特性を得られることを示し、本測定原理の有効性

を示す。今回については基礎特性の調査、原理の検証および問題点について報告するが、将来的には運動の制御や建築構造物の振動の検出などに応用できるセンサに発展させる予定である。

2. 測定原理

圧電体はサイズモ系の加速度ピックアップとして、通常よく利用されている。本研究のセンサもサイズモ系であり、被測定対象上にセンサを搭載し、対象物が運動したときにセンサに働く慣性力を利用してジャークを測定する形式を取っている。加速度ピックアップとして圧電素子を利用する場合、慣性力による圧電素子の変形を利用するため、圧電効果によって素子に発生する電荷量 Q は被測定対象の加速度 \ddot{x} に比例する（式(1)）。

$$Q \propto \ddot{x} \quad (1)$$

このとき、もしも圧電素子の両端電極が導線によ

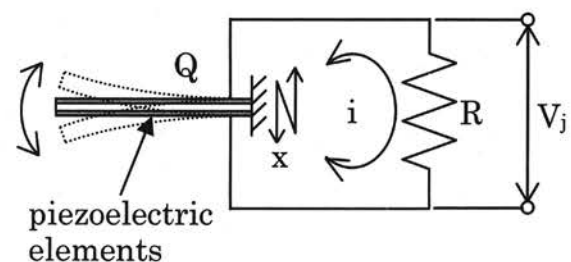


Fig.1 Schematic principle of the jerk sensor

って短絡されているとすれば、加速度によって発生した電荷は導線を伝って電極間を往来し、導線内部には電流 i が発生する。電流は電荷の時間微分であるため、この電流値を測れば加速度の時間微分であるジャークに比例した値を測定できると考えられる(式(2))。

$$i = \frac{dQ}{dt} \propto \frac{d\dot{x}}{dt} = \ddot{x} \quad (2)$$

以上が本センサの基本的な測定原理である。

3. 実験装置

図1は本センサの概略を表している。センサに用いる圧電素子は積層型であってもバイモルフ型であっても、あるいは単体の圧電体であってもよいが、測定原理を確認するための今回の実験では、バイモルフ型を採用している。本センサはサイズモ系であるため、被測定対象上に設置して用いられる。また、今回はセンサ素子自身の慣性を利用することとし、負荷質量は特には設けていない。図に示したように被測定対象が運動すると、バイモルフ型圧電素子は自らの慣性によってたわみ変形し電荷を発生する。短絡した圧電素子の両端電極間に流れる電流を測定する方法はいくつか考えられるが、ここでは短絡導線内に測定用の小抵抗器を挿入し、その抵抗器の両端電圧 V_J によって発生電流を測定する。抵抗の値が大きいと発生電流に影響するためできるだけ小さな抵抗値にする必要がある。しかしながらあまりに抵抗値が小さすぎても、測定電圧が極端に小さくなってしまう。そこで今回は抵抗値 R を 10Ω としている。

このセンサは素子の保持部を運動させてそのときのジャークの値を測定するものであるが、基準となるジャークの値を測定できる校正用のセンサはないため、今回は正弦波運動時について調査する。本センサを外部のアクチュエータによって正弦波加振し、そのときの加振変位を変位センサで測定し、正弦振動している変位信号からジャークの振幅と位相を見積もる。正弦波駆動であるため、変位振幅に駆動周波数の二乗を乗じた値がジャークの振幅となり、駆動変位の位相に対して 270° 進んだ位相がジャークの位相になる。

加振アクチュエータとして積層型圧電アクチュエータを用いた。また、ジャークセンサのバイモルフ素子には全厚さ 0.45mm (圧電体 $0.2\text{mm} \times 2$ 枚、シ

ム材 0.05mm)、幅 10mm 、長さ 35mm の素子を用いた。素子単体での1次の固有振動数は約 180Hz である。

4. 実験結果

図2に本ジャークセンサの振幅の周波数特性を示す。振幅は p-v 値で示している。センサ素子の1次の固有振動数が 180Hz であるため、サイズモ系センサとして測定できるのはそれよりも低い周波数領域であり、測定したのは $100\sim 170\text{Hz}$ の間である。周波数が高くなるとともに駆動変位の振幅を小さくするように調節してジャークの振幅が一定になるように

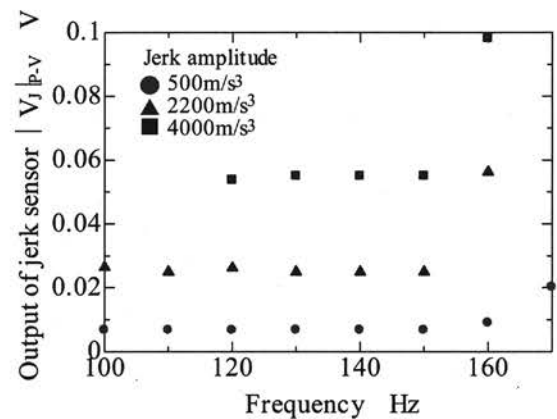


Fig.2 Amplitude characteristics of frequency response

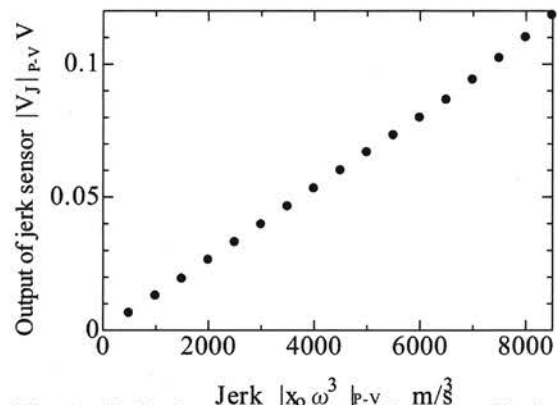


Fig.3 Relation between amplitudes of jerk and sensor output

正弦波加振し測定した。同一のジャーク振幅に対してジャークセンサの振幅も一定になっており良好な振幅特性であることがわかる。今回の素子では測定できる周波数レンジがやや狭いが、これはセンサ素子の固有振動数に制限されてしまっているからであり、実際の応用時に要求されるジャークの周波数帯域によってセンサの寸法や機械的構造を設計する必

要がある。

図3は正弦波加振したときの変位センサの値から換算したジャークの振幅を横軸にとり、そのときのジャークセンサの出力電圧の振幅を示したものである。図2と同様に振幅は p-v 値として示している。本図より、本ジャークセンサの出力電圧の振幅はジャークの値に対してよい線形性を示していることがわかる。

また、ここではグラフとしては示さないが、位相特性を調査した結果、ゲイン特性がフラットになっている周波数帯域ではほぼ0になっていることを確認している。

5. まとめ

圧電素子を利用した簡易で小型の新しいジャークセンサを提案し、その測定原理の有効性を正弦波駆動時の応答として調査した。その結果、測定するジャークに対して高い線形特性を有し、振幅および位相ともにより周波数特性であることを示した。

今後は応答帯域を広げ、センサ素子の減衰性能を向上させた上で、実際に運動する物体のジャークを測定する予定である。

謝辞

本研究発表の旅費の一部を財団法人信州大学工学部若里会より援助していただいた。深く感謝する。

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	150,000 100,000 100,000 150,000 100,000 600,000	フランス ハワイ ハワイ カナダ 中国
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	150,000 150,000 150,000 150,000 150,000 100,000 850,000	フランス オーストリア ドイツ イギリス イタリア 中国
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	135,000 135,000 35,000 135,000 135,000 135,000 135,000 135,000 980,000	メキシコ 米国 千葉県 米国 中国 米国 フランス オーストラリア
平成 10 年度	萱津 理佳 北原 司 清水 茂清 田中 清	情報 情報 社会開発 電気電子	150,000 100,000 100,000 100,000 450,000	スロバキヤ 中国 シンガポール インド
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	115,000 115,000 115,000 115,000 115,000 115,000 115,000 80,000 885,000	米国 フランス 米国 米国 ニュージーランド 米国 ドイツ 中国
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	150,000 150,000 150,000 450,000	イタリア 米国 米国
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 80,000 120,000 40,000 80,000 120,000 120,000 80,000 120,000 120,000 1,000,000	米国 中国 ドイツ 横浜市 中国 米国 米国 中国 フランス ドイツ
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 90,000 150,000 150,000 150,000 690,000	スペイン 韓国 ポーランド 米国 米国
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 50,000 110,000 100,000 50,000 50,000 100,000 50,000 50,000 50,000 760,000	フランス 奈良市 米国 韓国 名古屋 名古屋 韓国 三重県 三重県 大阪市

平成 16 年度	辺見信彦	機械システム	150,000	ドイツ
	両角修四郎	機械システム	50,000	千葉県
	千田有一	機械システム	100,000	台湾
	伊東栄次	電気電子	150,000	フランス
	和崎克己	情報	100,000	中国・香港
	牛立斌	環境機能	100,000	中国・上海
			650,000	

「技報 こまくさ」 第4号 平成17年9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1-27-9
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