

遠隔実験を含む Web 型遠隔授業のスケジューリング方式

三井 浩康[†] 杉原 弘章[†] 小泉 寿男[†]

インターネットによる非同期型遠隔教育は、受講生にいつでもどこでも学習できる機会を与えるだけでなく、科目間、授業間にきめ細かな履修条件を設定して受講生の理解度向上を図ることができる。工学系の遠隔大学教育においては、大学構内での教育と同様に、専門科目の講義とそれに関連する実験が不可欠である。このため、遠隔実験方式に関する研究が行われている。本論文では、工学系大学向けの実験を含んだ遠隔授業の授業スケジューリング方式について提案する。対象とする遠隔授業のスケジューリングでは、教育コース開設期間の柔軟性、受講生の履修希望、授業リソースの制約、および科目・授業間の履修条件などの制約がある。授業リソースの制約には、実験装置などの厳しい制約と教員スタッフ体制などの緩やかな制約がある。これらの条件を調整して個人別の履修計画を立案する手続きとアルゴリズム、およびシミュレーション結果について報告する。

A Scheduling Method of Web-based Distance Learning Classes Including Remote Experiments

HIROYASU MITSUI,[†] HIROAKI SUGIHARA[†] and HISAO KOIZUMI[†]

Internet based asynchronous distance learning not only gives people chances of studying at anytime anywhere, but also improves students' understanding by placing flexible prerequisite conditions among subjects and lessons. Internet based university education for engineering requires both lectures on specific subjects and experiments related to them, and so, many researches on remote experiments have been done. We propose a scheduling method for distance learning classes including remote experiments. In scheduling remote classes including experiments, there are many constraints such as flexibility of course period, students' preferences, resource restrictions of lessons and prerequisite conditions of subjects and lessons. Resource restrictions of lessons include strict restrictions like experiment equipment and looser restrictions like teaching stuffs. This paper describes method and algorithm to collate these various restrictions in distance learning to generate individual student's timetable. It explains simulation results, too.

1. はじめに

インターネットの高速化、常時接続化にともない、Web 型遠隔教育 (e-ラーニング) の可能性が広がっている。なかでも、Web 型非同期遠隔教育 WBT (Web Based Training) は米国の大学を中心に急速に普及している。わが国では、e-ラーニングを全学的に採用している大学は全体の 1 割強といわれ、単位認定まで行っている大学は少ない。しかし、2001 年の省令による大学設置基準の改正で非同期型授業も条件を満たせば遠隔授業として行うことが可能になったため、積極的な取組みが見られるようになってきた。遠隔大学教育を受ける機会を大学生のみでなく社会人にも提供する動きも広がりをみせている^{1),2)}。

工学系の大学教育を Web 型遠隔授業として行う場合、専門の講義と並行して実験を実施することが求められる。講義については、受講生は Web 教材を使用して自分の都合に合わせて非同期に受講できる。実験については、受講生が実験のために通学することは時間的、地理的な制約が大きい。このため Web 経由の遠隔実験方式として、遠隔操作型実験やシミュレーション型実験が研究されている。遠隔操作型は実際の装置を操作することができ、実験室と同じ結果が得られるので多くの提案がなされている³⁾⁻⁶⁾。シミュレーション型は実験環境をソフトウェアで模擬するので⁷⁾、多人数が同時に実験できる半面、実験室での実験と同じ結果は得にくいなどの限界がある。

実際の装置を使用する実験では、装置台数が有限であり、また受講生が希望する実験時間帯が偏るため、実験リソースの競合が発生する。また、教員は毎回の講義や実験で受講生を直接指導するため、教員リソー

[†] 東京電機大学
Tokyo Denki University

スによって受講可能者数が制限される。一方、非同期型遠隔教育コースでは、開設期間に自由度を持たせて便宜を提供することや科目・授業間にきめ細かな履修順序を設定して理解度向上を図ることも可能になる。遠隔実験を含む工学系大学の遠隔教育では、このような制約条件を満たして受講生別の履修計画（時間割）を作成することが求められる。

学校における時間割編成問題は、制約充足問題あるいは最適解探索問題の1つとして多くの研究がなされている。より最適に近い解を探索する方法として、確率的登山法（SHC: Stochastic Hill Climbing）⁸⁾、SA法（Simulated Annealing）⁹⁾、遺伝的アルゴリズム法（GA: Genetic Algorithm）¹⁰⁾やニューラルネットワーク法（NN: Neural Network）¹¹⁾などがある。制約条件の組合せは非常に多いが、これらの手法は膨大な組合せの母集団から最適解に近い解を確率的に探索する手法である。最初に確率的に選んだ解から始め、探索パラメータを変更しながらその結果を評価関数で評価してより良い解を探すと手順を繰り返して、最適解に接近させる。

これらの確率的手法は、無駄な組合せも含む膨大な対象を探索するので計算時間がかかる、実際の業務に合ったパラメータや評価関数の選択が難しい、局所的な最適解を探してしまう危険性があるなどの問題点が指摘され、改良研究がなされている^{12),13)}。時間割編成問題の研究事例は、制約条件を満たして二次元的配列に教員や教室を最適に配置する通学制の時間割問題に関するものが多い。きめ細かな履修条件や個人別に異なる時間割は想定されていない。受講生の希望を考慮した時間割編成の提案もなされている¹⁴⁾が、学習塾の例であったり、想定規模が小さかったりしている。

他の手法としては、線形計画法（LP: Linear Programming）を応用したジョブショップ・スケジューリング方式が企業の製造現場で使用されている^{15),16)}。工期遵守、短縮のために、ジョブショップ・スケジューリングにより受注から完了までの作業計画の立案、設備リソースの競合調整の最適化を図っている。

本研究が対象とする遠隔教育では、さまざまな制約条件を満たして履修コース開設期間内にできるだけ多くの受講生を履修させることが主眼であり、上述した従来の時間割編成問題とは異なる方式が必要である。

本論文では、工学系大学における実験を含む遠隔教育を対象に、受講生の履修希望をできるだけ満足させながら、履修条件および授業リソースを調整する授業スケジュール方式を提案する。本方式では、科目の開設期間、履修条件に基づき受講生ごとに科目・授

業の履修順序を決め、全受講生の授業履修順序をつき合わせて、受講希望を考慮しながら授業リソースの競合を解決して個人別の授業履修計画を立案する。

2. 遠隔授業スケジュールリングの課題と目標

2.1 実験を含む遠隔授業スケジュールリングの課題

実験を含む遠隔授業スケジュールリングでは、科目開設期間、履修条件、授業リソース、受講生の受講希望などを考慮して計画を立案することが主な課題となる。

(1) 科目の開設期間と履修条件の考慮

通学制大学教育では前・後期の2セメスタ制による履修が一般的である。Web型遠隔大学教育では、期間を短縮した履修コースやセメスタをまたがる履修コースも設定可能である。開設期間の多様性が授業スケジュールリングの制約条件となる。

専門科目では、きめ細かな履修条件を設定して系統立った学習を行わせ、理解を向上させることが望ましい。通学制大学では教室で一括教育を行うので細かな履修条件は設定しにくい。非同期型遠隔授業では、きめ細かな履修条件の設定が特長になる。履修条件の複雑さは授業スケジュールリングの制約条件となる。

(2) 実験を含む授業リソース競合の解決

実際の装置を使用する実験では、同時に実験できる人数は装置の台数で決まる。受講生が希望する実験時間帯が競合することもある。実験では装置の台数が授業スケジュールリングの厳しい制約条件となる。

一方、教員は毎回の授業後に設問と解答、レポート課題の提示、添削指導などによって受講生を直接指導して理解度を把握する。教員側リソースは、実験および講義に共通の制約となる。講義科目では、教員側リソースが受講可能者数を制限する主な要因であり、授業スケジュールリングの緩やかな制約条件となる。

(3) 受講生の履修希望の反映

通学制授業やTV会議式の同期型遠隔授業は週単位の固定時間割で運用される。一方、非同期型遠隔授業は、授業リソース、開設期間や履修条件などの制約はあるが、基本的には受講生が都合の良い時間を選んで履修できる。したがって、受講生の履修申告や履修希望日・時間帯をできるだけ満足させながら、多くの制約条件を満たして個人別履修計画を立案する必要がある。

(4) 動的な個人別履修計画の作成

非同期型遠隔教育では、受講生の履修状況の変動に応じて、履修計画を再設定できる点が特長になりうる。このため、コース期間の途中でも、受講生の履修状況の変化に応じて動的に個人別履修計画を変更可能とす

ることが求められる。

2.2 遠隔授業スケジュールリングの目標

実験を含む遠隔教育において、さまざまな制約条件を満たして個人別の履修計画を立案し、受講生が Web 型遠隔教育の恩恵を享受しながら、できるだけ希望に沿った計画で期間内に履修を完了できるようにする。具体的には、以下を解決する。

- (1) コース開設期間の柔軟性、科目・授業間のきめ細かな履修条件への対応
- (2) リソース制約が厳しい授業および緩やかな授業双方の授業リソース競合の調整
- (3) 受講生の履修希望のできる限りの反映、所定期間内の履修完了
- (4) これらを反映した個人別履修計画の作成、履修状況による履修計画の再作成

3. 遠隔授業スケジュールリング方式の提案

本章では、対象とする工学系大学の遠隔教育コースについて述べ、次に前章で述べた課題を解決するための遠隔授業スケジュールリング方式について提案する。

3.1 対象とする工学系大学の遠隔教育コース

授業は、Web 教材による非同期型講義と実際の装置を使用する遠隔実験で構成される。遠隔教育コースを以下のように想定して議論を進める。

(1) 教育コースの開設期間

受講生は標準では前、後期のセメスタ（約 4 カ月）で各科目を履修するが、3 カ月あるいは 2 カ月などの短期コースも設定可能である。また、仕事をしながら履修する社会人などのためにセメスタをまたがる長期の履修コースの設定も可能である。

(2) 受講可能時間と定員

受講生は履修条件を満たせば、希望の科目を選択して履修することができる。Web 教材を使用する講義科目では、教員リソースの制約があるため定員枠を設けるが、サーバ設備の保守時間などを除けば受講時間に制限はなく、いつでも受講できる。実験科目は実際の装置を使用するため、同時に受講できる人数が制限されるので受講生に実験希望日・時間帯を申告させる。

(3) 科目・授業の履修条件

系統立った学習で徐々に専門性を高める目的で、きめ細かな科目・授業の履修条件の設定を可能にする。

(4) 授業の進行管理

教員は授業のたびに受講生の到達度を見ながら、きめ細かい指導を行う。受講生は各回の授業を修了しないと次に進めない。未修了時は次週に補習を受けさせる。未修了を続けた受講生には履修を中断させ、次の

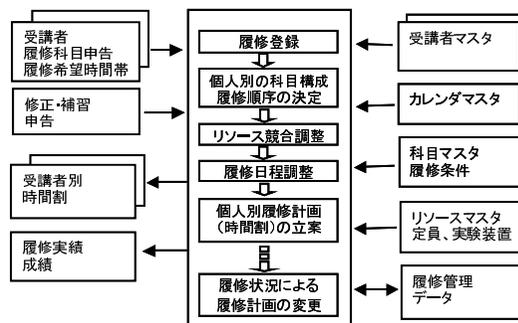


図 1 授業スケジュールリングの概要

Fig. 1 Outline of scheduling classes.

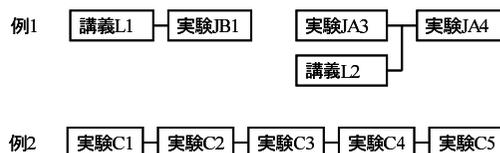


図 2 履修条件の例

Fig. 2 Example of prerequisite conditions.

履修期間あるいは年度に再履修させる。履修状況は履修管理システムで管理されるものとする。

(5) 受講生の規模

受講生数の規模は、たとえば 300～500 人と人数が多く、さまざまな受講生がいるものとする。

3.2 遠隔授業スケジュールリングの概要

図 1 に授業スケジュールリングの概要を示す。

受講生は、科目の開設期間、履修条件を考慮して履修申告する。実験など受講時間に制約のある科目については受講希望時間帯を申告する。科目の開設期間と定員、科目の履修条件、実験などの履修可能時間帯に基づいて受講生の申告内容を反映して、受講生ごとに全授業の履修順序を決める。次に、受講生ごとの授業履修順序をつき合わせ、授業リソースの競合があれば調整して、受講生別の履修計画を作成する。受講途中で履修状況による履修内容の変更があれば、再スケジュールリングを行う。

3.3 制約条件についての考え方

(1) 科目・授業の履修条件

専門科目を系統的に学び段階的に専門性を高める目的で、きめ細かな科目・授業間の履修条件を設定可能とする。これは Web 型非同期遠隔教育の特徴でもある。

図 2 に履修条件設定の例を示す。例 1 は科目間の履修条件の例である。アセンブラ講義 L1 が終わらないとマイクロコンピュータ実験 JB1 ができない。また、システム制御基礎講義 L2 と周波数特性実験 JA3 を修了しなければ自動制御実験 JA4 を履修できない。

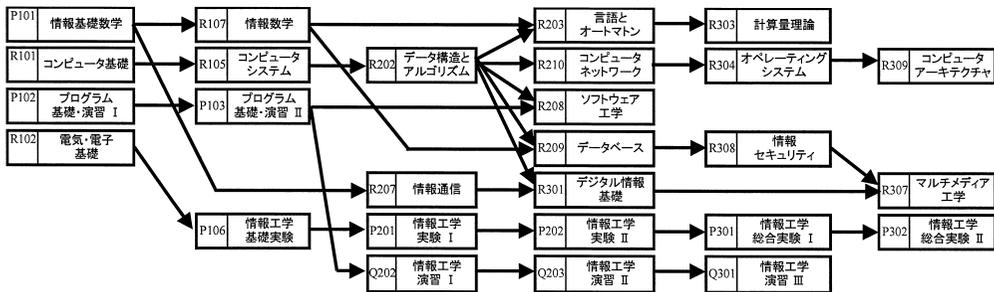


図 3 科目単位のラーニングチャートの例

Fig. 3 Example of subject-oriented learning chart.

例 2 は科目内の履修条件である．実験 C1～C5 は 5 回で構成される総合実験であり，各回の実験を修了しないと次の回に進めない．

(2) 授業リソースの制約条件

科目や授業の受講可能者は，授業のリソースによって制約される．授業リソースによる制約には，緩やかな制約と厳しい制約がある．

(a) 緩やかなリソース制約

非同期型の講義では，受講生は週の好きな時間に授業を受けるが，受講可能者数は教員リソースによる定員枠という形で緩やかに制約される．教員は毎回の授業後に設問付与やレポート課題によるきめ細かな指導，到達度把握を行う．受講生が問題に遭遇した場合にメールなどで直接指導する場合もある⁶⁾．このため，1人の教員が指導できる受講生数は限られる．一方，遠隔授業のプログラムを大学側のサーバで動かす場合は，サーバ設備やネットワーク設備の能力で科目の受講可能者数が制約される場合もある．

緩やかな制約のリソースは定員内の受講生全員が共用する．定員枠の制約は，複数教員による分割授業，週に複数回授業の開設などの方法で緩和できる．

(b) 厳しいリソース制約

実際の装置を使用する実験では，実験テーマごとに 1人が 1台（協同学習の場合はグループで 1台）の装置を占有するので，同時に受講可能な受講生数は装置の台数で厳しく制限される．このため，装置を使う実験では，時間帯別，装置別の実験機会（リソース）を設けて，これを各受講生に割り当てる必要がある．

Web によるスクーリングや対話型指導を導入する場合も，教員が同時に対応できる受講生数に制限があり，厳しいリソース制約が生じる．

(3) 受講生の履修希望

厳しいリソース制約をとまなう科目は曜日・時間帯を半固定とする．たとえば，実験は 2 コマ授業で受講機会は週 6 日間の午前，午後，夜間の延べ 18 回とす

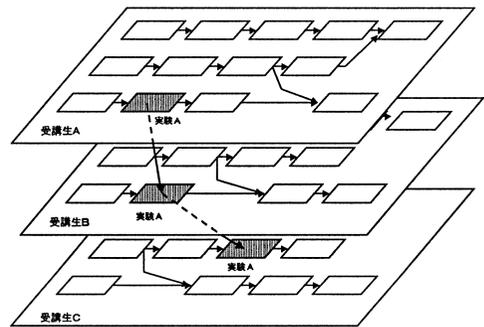


図 4 ラーニングチャートの多重処理

Fig. 4 Multiple processing of learning charts.

る．受講生にはこの中から希望の時間帯を第 3 希望まで申告させ，希望を考慮して調整する．

3.4 授業スケジューリングの処理方式

提案するスケジューリング方式では，複数の受講生の履修計画を構成する各授業がリソースを共用しているという条件のもとで，各授業の制約条件を授業の履修順序に関する制約と授業リソースに関する制約という 2 面性でとらえて，全受講生の履修計画を並行処理していく．このために，各受講生が履修するコースの全科目とそれを構成する授業を履修順に並べたラーニングチャートを作成する．図 3 は，情報工学のカリキュラムにおける科目別ラーニングチャートの例である．授業についても，科目の開設期間，科目・授業間の履修条件に基づいて個人別の授業単位のラーニングチャートを作成する．以後，科目をサブジェクト，授業をレッスンと呼ぶことがある．

全受講生の履修コース期間のレッスン単位のラーニングチャートを重ね合わせて，授業リソースの競合を調整することをラーニングチャートの多重処理と呼ぶ．図 4 にラーニングチャート多重処理の概念を示す．

レッスンとレッスンを接続する点を結合点と呼ぶ．結合点間の各レッスンは，ラーニングチャート上での履修順序を示す「from」ポイントと「to」ポイントを

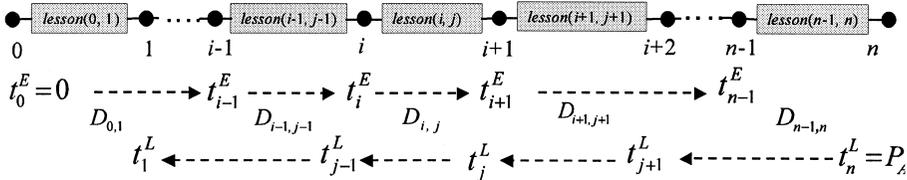


図 5 レッソンの履修期間余裕度の算出

Fig. 5 Calculation of period-margin of completion for lessons.

持つ．これをレッスンポイントと呼ぶ．各受講生が履修するすべての授業の履修順序は，履修条件で順序付けられて履修順序情報としてレッスンポイントに反映される．また，各レッスンは，そのレッスンに対応する授業リソースの使用順序を示す「from」ポイントと「to」ポイントを持つ．これをリソースポイントと呼ぶ．ラーニングチャートを多重処理することで各レッスンのリソースの使用順序が決められ．リソース接続情報としてリソースポイントに反映される．各受講生の授業の履修順序を示すラーニングチャートを平面図と考えると，各レッスンが使用するリソースの使用順序を示すものが立面図に相当する．以下，授業スケジュールの処理方式について順を追って説明する．

(1) 科目と履修条件の処理 (ステップ 1)

講義科目は 12~15 回，実験科目は 8~10 回のレッスンを行う．これを標準コースでは 4 カ月で修得し，短期コースでは 3 カ月，あるいは 2 カ月で修得する．セメスタをまたがる長期履修コースの場合も同じレッスン数である．受講生により履修申告科目は異なり，各科目・授業には履修条件が設定されている．これらの履修条件はレッスンポイントとして表現されているのでレッスンポイントに基づいて履修順序を決め．受講生別にレッスン単位のラーニングチャートを生成する．

(2) 授業の履修可能週の算出 (ステップ 2)

ステップ 1 で求めた各受講生のラーニングチャートに対して，各科目の完了期限を遵守しながら各科目のレッスンを履修できる週の期間を算出する．最も早く履修に着手できる週（最早着手週という）と最も遅く着手してもよい週（期限遵守最遅着手週，以後，最遅着手週という）を以下に示すアルゴリズムで求める．

図 5 はレッスンの履修可能週の算出を説明する図である．レッスンの着手，完了は週単位 t で管理する．結合点には履修開始週の週初めを 0 とする週番号をつける．図 5 ではすべての結合点間にレッスンが存在しているが，科目によっては結合点間にレッスンがない場合もある．受講生 A の履修期間の完了週を P_A とする． P_A は履修するコースの期間により変動する．結合点 i と結合点 j の間に履修するレッス

を $lesson(i, j)$ とする．ここで $i = 0, 1, \dots, n - 1$ および $j = 1, 2, \dots, n$ であり，かつ $j \geq i + 1$ である．結合点 i における $lesson(i, j)$ の最早着手週の週初めを t_i^E ，期日を遵守できる $lesson(i, j)$ の最遅完了週の週末を t_j^L とすると， t_i^E, t_j^L は以下に示す式で表すことができる．ここで結合点 0 は履修開始日，結合点 n は履修完了日を意味する．また， $(i, j) \in A$ は $lesson(i, j)$ が受講生 A の履修計画に属することを表し， D_{ij} は $lesson(i, j)$ の所要時間（週単位）を表す．1 週間に 1 レッソンの場合は，所要時間 D_{ij} は 1.0 週，1 週間に 2 レッソンの場合は D_{ij} は 0.5 週で表す．

$$t_0^E = 0 \tag{1}$$

$$t_i^E = \max_{(i,j) \in A} (t_{i-1}^E + D_{ij}) \tag{2}$$

$$t_n^L = P_A \tag{3}$$

$$t_j^L = \min_{(i,j) \in A} (t_{j+1}^L - D_{ij}) \tag{4}$$

式 (1) を結合点 0 の最早着手週として式 (2) で結合点 1 における最早着手週を算出する．同様に結合点 2, 3, ..., $n - 1$ と進めて全結合点における最早着手週を求める．同様に式 (3) を結合点 n の最遅完了週として式 (4) で結合点 $n - 1$ における最遅完了週を算出する．同様に結合点 $n - 2, n - 3, \dots, 1$ と進めて全結合点における最遅完了週を求める．式 (2) の max，式 (3) の min は，結合点間に複数のレッスンがある場合に最大のもの，最小のものを選ぶことを示す．

$lesson(i, j)$ の最早着手週 ESW_{ij} ，最早完了週 EFW_{ij} ，最遅着手週 LSW_{ij} ，最遅完了週 LFW_{ij} はそれぞれ次のようになる．

$$ESW_{ij} = t_i^E \tag{5}$$

$$EFW_{ij} = t_i^E + D_{ij} \tag{6}$$

$$LSW_{ij} = t_j^L - D_{ij} \tag{7}$$

$$LFW_{ij} = t_j^L \tag{8}$$

授業の履修は週を基本とするので，各受講生のラーニングチャートに従って最遅完了週の早い授業から順番に最遅着手週を算出する．次に最早完了週の早い順番に最早着手週を算出する．これらの式から各レッスンの履修可能な週が決まる．また，レッスンの履修期間余裕度 PD_{ij} が次の式で求められる．

表 1 複数リソースを持つ緩やかな制約条件の科目

Table 1 Subjects having plural resources with looser restriction

	定員	リソース数	リソース a	リソース b	リソース c
科目 A	100	2	50	50	—
科目 B	200	3	60	70	70

$$PD_{ij} = LFW_{ij} - EFW_{ij} \quad (9)$$

(3) 厳しいリソース制約条件の調整 (ステップ 3)

厳しいリソース制約の実験などの授業では、全受講生のラーニングチャートをつき合わせて、1つ1つのレッスンのリソース割当て順位を決める。

任意の受講生 p の任意の科目 S の結合点 i におけるレッスンの履修期間余裕度を $PD_{ij}(p, S)$ とする。式 (9) により、結合点 i における全受講生の全レッスンの $PD_{ij}(p, S)$ を算出する。これらをつき合わせて最小値 $\min PD_{ij}(p, S)$ を探す。

$\min PD_{ij}(p, S)$ となった受講生のレッスンに、受講生の希望を考慮して授業リソースを割り当て、リソースポイントを更新する。次に、残った受講生のレッスンの中で $\min PD_{ij}(p, S)$ となるものにリソースを割り当て、リソースポイントを更新する。最小値が同一の場合は、最遅終了週の早い順、最遅着手週の早い順にリソースを割り当て、それでも決まらない場合は学番号順に割り当てる。

実験授業については、たとえば週 6 日、1 日 3 回の実験機会があり、実験テーマ数が 5、各テーマの実験装置台数が 2 台で実験を 1 人で行うとすると、週に 180 のリソースとなる。各受講生から実験する曜日・時間帯の希望を第 3 希望までとり調整する。受講生の希望はできるだけ尊重するが、第 1 希望が埋まった場合は第 2 希望、さらに第 3 希望までを考慮して調整する。それでも調整できない場合は、ステップ 2 で求めた最遅着手週を超えない範囲でシステムが割り付ける。実施する実験テーマはシステムが各受講生の履修状況を見ながら指定する。

(4) 緩やかなリソース制約条件の調整 (ステップ 4)

リソース制約の緩やかな科目では、定員内の受講生がリソースを共有する。これらレッスンについても各結合点でレッスンをつき合わせて $\min PD_{ij}(p, S)$ を求め、余裕度の小さいものから順にリソースを割り付け、リソースポイントを更新する。

同一授業に複数のリソースがある場合は、受講生をリソース数と同じ数のグループに分け、グループ単位でリソースの割当てを行う。表 1 は、複数リソースを持つ科目の例である。それぞれのリソース数に応じて、科目 A では 2 つ、科目 B では 3 つのグループに

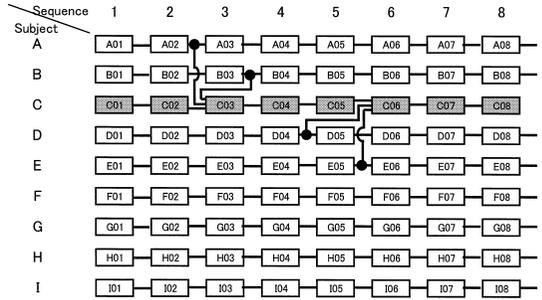


図 6 授業単位のラーニングチャート例

Fig. 6 Example of learning chart of lessons.

受講生を分けてリソースの割当てを行う。

(5) 個人別履修計画の立案 (ステップ 5)

ステップ 2 で決めた受講生別の着手可能期間 (週) にステップ 3, 4 の結果を反映して、各授業の着手週を決定し、個人別の履修計画を作成する。

4. シミュレーションによる評価と考察

3 章では、受講生の授業履修が並列的に進み、かつそれらの授業がリソースを共用する場合のスケジューリング方式を提案した。本章では、例題により提案方式をシミュレーションした結果を述べ、考察する。

4.1 シミュレーション結果

(1) 履修コースと履修条件の設定

シミュレーションを行う Web 型遠隔教育コースの条件を以下のとおりとした。

- コースには 4 カ月の標準コース、3 カ月および 2 カ月の短期コースがあるとする。3 カ月コースとしては、前期では、4-6 月の 3A、5-7 月の 3B のコースがある。2 カ月コースとしては、前期では、4、5 月の 2A、5、6 月の 2B、6、7 月の 2C の 3 コースがある。いずれのコースも講義は 15 レッスンを行い、実験は 8 レッスンを行う。
- 4 カ月コースでは、各科目の講義は週 1 回とする。実験は隔週とする。3 カ月コースでは、講義は 4 週間で 5 回、実験は 4 週間に 3 回とする。2 カ月コースでは、講義は週に 2 回、実験は毎週行う。
- 科目として、図 6 に示す A~I までの 9 科目の講義、実験がある。科目 C は実験であり、受講生は希望時間帯を第 3 希望まで出している。
- 実験 C₀₃ は A₀₂ と B₀₃ の修了が履修条件、実験 C₀₆ は、D₀₄ と E₀₅ の修了が履修条件である。
- 実験を除く講義科目は、週 100 人の定員枠がある。
- 受講生は 100 人とする。標準コース 65 人、3 カ月コースは 3A、3B 各 10 人、2 カ月コースは 2A、2B、2C 各 5 人と想定する。

表 2 履修条件のある実験の着手可能週

Table 2 Week to start experiment with prerequisite.

履修コース	授業	最早着手週	最遅着手週	履修余裕度
		ESW	LSW	
標準コース (4-7月)	実験 C ₀₃	4	8	4
	実験 C ₀₆	6	11	5
3A コース (4, 5, 6月)	実験 C ₀₃	3	8	5
	実験 C ₀₆	4	10	6
2B コース (5, 6月)	実験 C ₀₃	6	8	2
	実験 C ₀₆	7	10	3

Student	Course	Subject	Resource	Lesson	Lect/Exp	D	Prereq	Prereq 1	Prereq 2
S001	4	B12	B	12	1	1.0			
S001	4	B13	B	13	1	1.0			
S001	4	B14	B	14	1	1.0			
S001	4	B15	B	15	1	1.0			
S001	4	C01	C01	1	2	1.0			
S001	4	C02	C02	2	2	2.0			
S001	4	C03	C03	3	2	2.0	1	A02	B03
S001	4	C04	C04	4	2	2.0			
S001	4	C05	C05	5	2	2.0			
S001	4	C06	C06	6	2	2.0	1	D04	E05
S001	4	C07	C07	7	2	2.0			
S001	4	C08	C08	8	2	2.0			
S001	4	D01	D	1	1	1.0			
S001	4	D02	D	2	1	1.0			

図 7 受講生別のレッスンデータの例

Fig. 7 Example of lesson data for a student.

Student	Course	Subject	Resource	Lesson	Lect/Exp	D	ESW	EFW	LSW	LFW	PD	Prereq	Prereq 1	Prereq 2
S062	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S063	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S064	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S065	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S076	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			
S077	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			
S078	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			
S079	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			
S062	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S063	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S064	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S065	4	A01	A	1	1	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0			
S076	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			
S077	3B	A01	A	1	1	0.5	4.0	4.5	4.0	4.5	0.0			

図 8 レッスン履修期間の算出例

Fig. 8 Example of calculated learning period of lessons.

(2) ラーニングチャートの処理

図 6 の各科目から全受講生のラーニングチャートを作成して、受講生別に各レッスンの ESW, LSW, EFW, LFW, PD (履修期間余裕度) を求めた。表 2 は、標準コース, 3 カ月, 2 カ月コースにおける実験 C₀₃, C₀₆ の ESW, LSW および PD の例である。

学生 1 人あたり 128 レッソンのデータであり、100 人分で 12,800 件のデータを使用した。図 7, 図 8 はシミュレーションデータの一部である。図 7 はある受講生が履修するレッスンのデータの一部である。Prereq は履修条件があることを示し、Prereq 1, Prereq 2 は履修条件となるレッスンを示す。実験 C₀₃ では、前段の実験 C₀₂ のほかにレッスン A₀₂ および B₀₃ の修了が条件となっている。図 8 はリソース調整のためのデータの例である。ある学生のレッスン A₀₁ の ESW, LSW, EFW, LFW, PD などを示している。

受講生	コース	第5週 実験曜日・時間帯の割付																	
		月		火		水		木		金		土		日					
		午前	午後	夜間	午前	午後	夜間	午前	午後	夜間	午前	午後	夜間	午前	午後	夜間			
S001	標準																		
S007	標準																		
S011	標準																		
S023	標準																		
S036	標準																		
S040	標準																		
S055	標準																		
S066	3A																		
S069	3A																		
S071	3A																		
S073	3A																		
S091	2B																		
S092	2B																		
S095	2B																		

図 9 制約の厳しいリソースの調整例

Fig. 9 Example of adjusting resources with strict restriction.

(3) 厳しいリソース制約の調整

3.3 節で述べた手順に従って、まず厳しい制約のある授業リソースについて、受講生の実験時間の希望を考慮しながら割り付けた。例題では、全受講生の履修科目が同一であるため、各レッスンでかなりリソース競合を生じるといった厳しいケースとなる。

図 9 は実験科目 C の授業リソース調整結果の例である。第 5 週の実験可能時間帯に受講生の履修計画、希望時間帯を考慮してリソースを割り当てたものである。第 5 週では、標準コースの C₀₃, 3A コースの C₀₂, 2B コースの C₀₁ の実験授業を履修する受講生に対して実験リソースが割り付けられている。

(4) 緩やかなリソース制約の調整

次に、厳しい制約条件を反映した日程を前提に、緩やかなリソース制約条件の授業の履修週を決めた。週ごとの受講生数を集計して定員枠の 100 人以内がチェックする。例題では全科目が定員枠内であるので全レッスンに同一リソースが割り付けられた。定員枠を超える場合は、厳しい制約条件の授業日程は動かさずに緩やかな制約のレッスンの履修週を調整する。

(5) 個人履修計画の立案

図 10 に標準, 3 カ月, 2 カ月コースの受講生について立案した履修計画の例を示す。科目 C は実験であり、他は非同期の講義科目である。提案方式により、レッスン単位でリソース割当ての調整を進めることで、履修期間の異なるコースを一元的に扱うことができたことを示している。

4.2 考察

本論文では、実験を含む Web 型遠隔授業をスケジュールするための課題を述べ、それらを解決する個人別履修計画立案方式を提案し、シミュレーションを行った。これらをふまえて考察を行う。

(1) 従来方法と比較した本提案の特徴

実験を含む非同期型中心の Web 型遠隔教育は、表 3

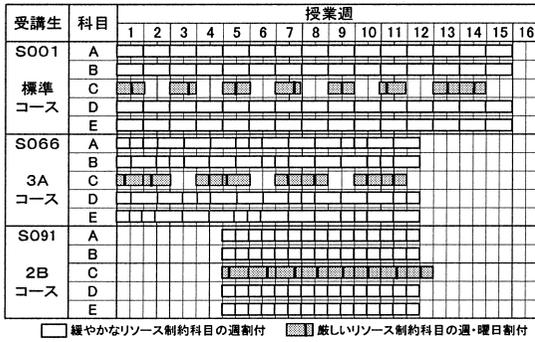


図 10 コース別、個人別履修計画の例

Fig. 10 Example of scheduling according to course and individual.

表 3 通学制教育と Web 型遠隔教育の比較

Table 3 Comparison between traditional education and Web-based distance education.

項目	通学制教育	Web 型遠隔教育
授業形式	対面型・同期型 固定曜日・時間 同一授業・一括教育	非同期型(講義, 実験) 受講生が曜日・時間を選択 進捗度に応じた個人指導 同期型授業も混在可能
コース期間	固定 2 セメスタ制	可変 短期, 長期コースも可能
時間割	全員に共通の時間割	個人別の時間割 履修状況により変更可能
履修前提条件	科目間の条件および 授業間の条件は希少	系統的学習のためきめ細 かい履修条件を設定可能
授業リソース の制約	教員のリソース 対面指導, 受講生指導 実験装置の台数 教室数	教員のリソース 受講生個別指導 実験装置の台数 サーバ・ネットワーク能力
受講生の希望	科目選択のみ配慮	履修希望日・時間を考慮

に示すように従来の通学制教育とは実施環境が異なる。科目の開設期間, 科目・授業間のきめ細かな履修条件, 受講生の履修希望などの制約に基づいて個人別履修計画を立案するためには, 独自のスケジューリング方式が必要であると考え, 提案した。

本提案は, ラーニングチャートを構成する各授業がリソースを共用しているという条件下で, 授業の制約条件に基づいて全受講生のラーニングチャートを並行処理してスケジュールを立案する。このとき, できるかぎり公平で全体として効率が良くなるようにする。ここで, ラーニングチャートは PERT 図に相当する。ラーニングチャート上のクリティカルパスを求めて各授業の処理順序を決め, 次に授業リソースごとに全受講生分を並行処理して授業実施期間余裕度のクリティカルパスを探索し, 余裕度の少ないものから順にリソースを割り当てる点が特徴である。

複数プロジェクトのスケジューリングに関しては,

ジョブショップ現場においてリソースを共用しながら進む多重プロジェクトのスケジューリング手法についての報告¹⁶⁾がある。

(2) 科目の開設期間と履修条件の処理

各授業にレッスンポイントを持たせて, これに科目・授業の制約条件を反映することにより, 受講生が履修する授業の履修順序を受講生別のラーニングチャートに表現できた。きめ細かな履修条件への対応が可能となり専門知識の段階的習得を助長する点は, 非同期型遠隔授業の特徴になりうる。

ラーニングチャート上の各授業の最早着手週, 最遅着手週, 最早完了週, 最遅完了週, 受講生別に履修期間余裕度を算出することで, 全受講生のラーニングチャートを並行処理して授業リソースの競合を解決することが可能になった。履修期間が異なるコースが混在する場合にも, 標準コースと一元化して授業単位で処理できることを短縮コースによって確認した。

本提案では, 授業は週単位で管理するものとした。教員は毎回の授業後に直接に指導し, また定期的に受講生を動機付けて, 受講を継続させる必要がある。週単位での到達度の管理, 履修状況の把握は, 通学制大学と同様の条件であり現実的であること, 履修条件の変更や再スケジューリングも週単位であれば容易になるなどの理由からである。

シミュレーションでは, 厳しい制約のあるリソース競合の調整に重点を置き, 複雑な履修条件は設定しなかった。実際には, より複雑な履修条件の設定がなされるが, その場合でもラーニングチャートが複雑化するものの, 同様に処理することができる。

(3) 実験を含む授業リソース競合の処理

授業リソースを受講時間帯が制約される厳しい制約のリソースと定員内の受講生が共用可能な緩やかな制約のリソースに分け, 厳しいリソース制約条件から先に処理する方式を採用した。ラーニングチャート上の各レッスンに履修期間余裕度という考えを導入し, リソースごとに全受講生の履修期間余裕度をつき合わせて, 余裕度の少ない順に, 希望を考慮しながらリソースを割り付けた。リソースの使用順序は各レッスンのリソースポイントに反映した。

実験はすべて装置を使用する実験とし, 厳しい制約条件を課してシミュレーションを行った。また, 受講生が実験時間帯を選択可能であったが, 実際には, 受講生の希望が偏って特定時間帯に集中したり, 所定時間内に実験が完了しなかったりする場合がある。これらの不規則な制約条件についての考慮は今後の課題である。非同期の講義についてはリソース制約が緩や

かで、影響が少ないので、シミュレーションでは各科目の定員は同一であると単純化した。科目の定員枠が異なる場合でも、本方式で処理することができる。

(4) 受講生の履修希望の反映

実験については、履修可能な時間帯を決めて受講生に希望時間帯を申告させることで希望を考慮した。シミュレーションでは極端な希望の偏りは想定しなかったが、希望が偏って特定の時間帯に集中して受講生の履修希望の充足度は低下することもありうる。多くの時間帯で希望充足度が不足する場合は、実験装置の台数を増やすなどの対策が必要になる。

(5) 動的な個人別履修計画の作成

週単位の受講生別履修計画の作成が可能となったが、欠席や不合格で次週に再履修する場合、あるいは授業を前倒して受講する場合など、受講生の受講状況の変動がありうる。この場合は、他の受講生の履修計画には影響を与えないようにして、変動のあった受講生のラーニングチャートを再作成する。計画変更時に、管理者がスケジュールシステムと対話しながら修正を行い、さらに良い履修計画を立案可能にすることが今後の課題である。

(6) その他の考察

例題では最遅着手週を超えるケースはなかったが、最遅着手週を超えないと競合を解消できない場合が起こりうる。これを解決するには、授業リソースを増強するか、受講生数を減らす必要があることを意味する。このような場合でも全体でどの程度、要求期限をオーバーするかをシミュレーションするために本スケジュール方式を使うことが可能である。

工学系大学における遠隔教育の普及は、関連する技術やシステムの今後の発展に依存している。WBT による教育コースの運用管理、レポート添削や課題付与、Web 教材の作成についてはすでに実用化されているものがあるが、工学系の遠隔実験環境、遠隔実験装置の無人運転、安全確保などの課題および実験時の学習支援、協調学習の実現など、多くの課題がある。

5. 結 論

遠隔実験を含む Web 型遠隔教育の授業スケジュール方式を提案した。科目開設期間、履修条件、受講生別の履修申告に基づいて授業の履修順序をラーニングチャートで表し、全受講生のラーニングチャートを並行処理して各授業のリソース競合を調整する方法とアルゴリズムを提案した。授業リソースを厳しいリソース制約と緩やかなリソース制約に分けて調整する方法を提案した。本提案に基づき、例題によるシミュ

レーションを行い、基本動作を確認した。

今後の課題として、履修時間の変動や履修未完了などの非正常状態の考慮、個人別履修計画の動的な変更を支援する対話型インタフェース、協調学習による遠隔実験授業の考慮などがある。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省：大学設置基準の一部を改正する省令の施行について（通知），平成 13 年 3 月 10 日・文科高第 346 号，記第 7，平成 13 年文部科学省告示第 51 号（2001）。
- 2) 経済産業省先進学習基盤協議会（ALIC）（編）：eラーニング白書 2003/2004 年版，pp.81-97，オーム社，東京（2003）。
- 3) Ko, C.C., Chen, B.M., et al.: Development of a Web-Based Laboratory for Control Experiments on a Coupled Tank Apparatus, *IEEE Trans. Education*, Vol.44, No.1, pp.76-86 (2001).
- 4) Kocijancic, S.: Online Experiments in Physics and Technology Teaching, *IEEE Trans. Education*, Vol.45, No.1, pp.26-32 (2002).
- 5) Nakano, H., et al.: Distance Education System for Interactive Experiments on Electric Circuits over the Web, *ISIMADE 99*, ISBN 0-921836-82-1, pp.113-116 (1999).
- 6) Mitsui, H. and Koizumi, H.: A Remote Experiment System Provided with Individual Guidance Function and Report Preparation Support Function, *Proc. 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp.117-124 (2003).
- 7) Consonni, D. and Seabra, A.C.: Modern Approach to Teaching Basic Experimental Electricity and Electronics, *IEEE Trans. Education*, Vol.44, No.1, pp.5-15 (2001).
- 8) Pothos, D. and Richards, B.: An Empirical Study of Min-Conflict Hill Climbing and Weak Commitment Search, *Proc. CP-95 Workshop: Studying and Solving Really Hard Problem*, Cassis, pp.140-146 (1995).
- 9) Rosen, B.E., 中野良平：シミュレートドアーニング - 基礎と最新技術，人工知能学会誌，Vol.9, No.3, pp.365-372 (1994).
- 10) Abramson, D.A. and Abela, J.: A parallel genetic algorithm for solving the school timetabling problem; Technical Report TR-91-02, C.S.I.R.O., Division of Information Technology, Department of Communication and Electronic Engineering, Melbourne (1991).
- 11) Adorf, H.M. and Jhonston, M.D.: A Discrete Stochastic Neural Network Algorithm for Constraint Satisfaction Problems, *IJCNN'90*,

pp.917-924 (1990).

- 12) 水野一徳, 狩野 均, 西原清一: 適応型確率探索による制約充足問題の解法, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.8, pp.2413-2420 (1998).
- 13) 西森雄一, 狩野 均, 西原清一: 制約に基づく対話型時間割編成システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.6, pp.1094-1102 (1997).
- 14) 田中雅博, 山田真理: 希望を考慮した多目的時間割問題の解法, システム制御情報学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.90-97 (1999).
- 15) 杉原弘章, 小泉寿男, 片岡信弘, 高原照明: リソース競合問題を考慮したジョブショップスケジューリング方式の提案とその実証, 電気学会論文誌, Vol.121-D, No.1, pp.14-23 (2001).
- 16) 杉原弘章, 藤本康孝ほか: 並行多重プロジェクトのクリティカルパス検出と負荷対策の立案, 電気学会論文誌, Vol.121-D, No.6, pp.695-704 (2001).

(平成 16 年 3 月 26 日受付)

(平成 16 年 11 月 1 日採録)



三井 浩康 (正会員)

1967 年東京大学工学部電気工学科卒業。同年三菱電機株式会社入社。空港管制自動化システム, 情報システム機器, 店舗自動化システム等の開発に従事。2000 年より東京電機大学理工学部情報システム工学科専任講師。遠隔教育, 実験教育の研究に従事。電気学会, 電子情報通信学会, IEEE 各会員。



杉原 弘章

1965 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1967 年東京大学大学院工学系研究科修士課程電気工学専攻修了。同年三菱電機株式会社入社。鉄鋼プラント, 食品, 自動倉庫等のコンピュータ制御システムおよび金型工程管理システムの開発等に従事。東京電機大学理工学部研究員を歴任。工学博士。電気学会, エントロピー学会各会員。



小泉 寿男 (フェロー)

1961 年東北大学工学部通信工学科卒業。同年三菱電機株式会社入社。1970 年より主として O/S, ソフトウェア生産技術, 情報システム構築技術, コンピュータ通信制御に関する研究・開発に従事。1998 年 4 月より東京電機大学理工学部教授, 工学博士。電気学会, 電子情報通信学会, IEEE 各会員。