

CHEMS セミナーに参加して

戸 荻 進

I. はじめに

1965年8月、日本化学会化学教育委員会はその事業の一つとして、アメリカから O'conner 氏 (ミネソタ大学) および Byrne 氏 (ニューヨーク州バタビア市高等学校) の二人を講師として招聘し、CHEMS セミナーを3週間にわたって、東京・京都・広島で各地で開催した。各会場それぞれ40名の受講者であったが、私も幸にしてその中に加えられ、京都会場で受講することができた。

私自身、既に昨年の本紀要でも触れておいたように、この十余年高校化学カリキュラムの現代化の仕事を手がけてきた関係もあり、CHEMSについてはCBA同様かなりな積極的関心を持ち、昨年第3次改訂版を入手して、あらかじめ一通りは目を通していった。しかし実際にCHEMSカリキュラムを作り上げて来たグループの二人の講師について講習を受けてみると、たとえ Teachers Guide まで読んでいても把握することはなかなかむづかしいと思われる核心に触れることができたという実感が非常に強かった。

この実感を、その印象の鮮烈なうちにまとめて書き留めておくことは、数少い受講者の一人として参加できた者の、その他の方々への義務でもあり、また私自身にとっても極めて大切なことであると考えてこの稿をまとめることにしたのである。

II. CHEMSの成り立ち

既にCHEMSについては、いろいろ紹介もされているが、私には私なりの把握もあるので、順序として、この成立の過程を簡単にまとめてみたいと思う。

化学に限らず従来の理科のカリキュラムには、歴史的に見て二つの大きな類型が考えられる。一つは欧州流の、また戦前の日本のそれで代表される科学的な、言い換えれば「個体発生は系統発生を繰り返す」という進化哲学に根拠を置いた所謂系統単元カリキュラムである。もう一つは20世紀前半の米国の、また戦後10数年にわたる日本のそれで代表されるプラグマティズムの哲学に根拠を置いた所謂生活単元カリキ

ュラムである。

しかし、このかなりな相異なる二つの類型の何れも、特に化学においては、方法的にみれば本質的には個別的であり、記載的であったことにおいて完全に一致する点を見落してはならないと思う。

ところが、最近の科学の急速な発達、その必然的結果として対象が日々、年々に老成にふくれ上ってくるという現象を招来し、これらの総てを記載的に追求することは、全くの不可能事であり、かと言って、安易に最新のトピックスのいくつかを盛り込む程度でカリキュラムの現代化のすりかえをしていたのでは、うっかりすると化学そのものの本質が漠とした、つかみ所のないものになってしまうおそれさえ生じるに至った。

この最近の激しい化学の進歩をとらえ、これを本質的に理解し、さらに新しい発展へと結びつけてゆくためには、過去のカリキュラムとは全く異った発想に基づいて切り棄てるべきものは思い切って取り除き、採るべきものはその素材の新旧に拘わらず積極的に採用して新に再編成する外はない。このような改革は各国それぞれの立場から多かれ少なかれ考えられているものであるが、それが国家的な要請となり、大きな財政的援助も伴って、先鞭をつけたのはアメリカであり、化学のCBA、CHEMS、物理学のPSSC、HPP、生物学のBSCS、地学のESCPをその尤たるものとし、その他7種類ばかりの高校カリキュラムの計画が推進されている。

CHEMSは、同じ化学のCBAより一年おくれで、1958年、合衆国科学財団(NSF)による最終的には10⁷ドルに上る財政援助の下に、一流の大学、高校の教師たちによって組織された委員会が発足、1959年には組織も拡大し超ウラン元素の研究で有名なSeaborgが委員長に、就任尽力することになった。

この委員会の初期の活動に於て、このカリキュラムの基本方針として次の三つのことが決定された。

1. 実験を尊重したアプローチ。
2. 微視的観点を採用するが、その導入は初期の段階では実験的裏付けをするのが困難であるから、カリキュラムの後の方にまわす。

3. 同一概念をくり返して教材として扱い、定性的扱いから順次定量的に、さらに別な概念への発展の過程を重視する。

1960年の夏休みに、12人ずつの大学、高校の教師によって、Text Book と Laboratory Manual の試案が作成され、同年の秋から500人の生徒に試験的に使用させ、隔週に委員会を開いてその結果を検討し、1961年夏には改訂第一版が出された。この段階で Teachers Guide の試案と Film の作成も始められその秋からは124名の教師により、約2000名の生徒に対して試用され、同様隔週の委員会で結果の討議、改訂第二版は1962年1月に出された。これは改訂第一版に比し内容もかなり増えて現在に近いものとなったが、これを同年秋から約1000名の教師により約5000名の生徒に試用、同様な過程を経て1963年夏に決定版が本格的なテキストとして出版され、同時に Teachers Guide と数多くの Film も完成した。現在では全米の約25%の高校で採用されている。なおこの大巾の使用によるデータと、その後の化学の進歩を織り込んで次の改訂は1967年を目標として計画が進められているとのことである。

CHEMSのねらいは、テキストの緒言にも述べられているように、従来暗記の学問として敬遠されがちであった化学を、原理的にしっかりしたバックボーンを通すことによって自然の本質を容易に理解させるようにし、更にそれらから何物かを得ることができるようにさせようとする点にある。言い換えれば、科学の態度を身につけ先人の残した偉大な業績を押しつけてではなく、生徒自らが発見する喜びを味わうことができるように誘導し、化学というものに強くひきつけられ積極的に資料を求め、問題を発見し、解決してゆくような巧みな構成がとられており、それによって優秀な人材を自然科学の分野に次代の担い手として迎え入れようとするものである。

III. CHEMSの構成

CHEMSの教材は Text Book, Laboratory Manual および Teachers Guide の三冊の書物および20数巻の Film より成っている。次にそれぞれについて、要点を述べてみよう。

(1) Text Book

第I部 概説 1～6章

化学に対する基本的態度、学習法になれさせる導入部で、化学の基本的原理が簡潔に取り扱われている。個々の素材は以後の章により深く、繰り返えしては出てくる。

第II部 化学反応の原理 7～13章

化学反応の基礎となるエネルギー・速度・平衡・反応機構・酸化還元電位などの原理を取り扱い、溶解度・酸塩基・酸化還元に適用する。

第III部 原子の構造と分子構造 14～17章

原子の存在を裏付ける化学的事実から導入、原子の細部を「見る」方法と続き、さらに化学結合を物質の三態について考え、量子力学の一端にも触れる。第II部と共に内容の程度はかなり高度で、近代的なものであるが、数式はさけ臨機応変に種々のモデルを駆使してわかりやすく懇切に述べられている。

第IV部 各論 18～25章

第III部までの原理を、応用させる立場から、体系的に各論が展開されている、しかし有機化学は、かなり切り詰められ頁数にして約3分の1にすぎない。各章とも大体実験を先行させて導入とし、途中要所に演習問題を挿入し、章末にはかなりの量の質問と問題を課し、いろいろな角度からのだめおしと発展を期待している。また数は少いが教師によるデモンストレーションも用意され、生徒実験と相まって、実験尊重のアプローチの方針を力強く打ち出している。

(2) Laboratory Manual

41項目の実験と、数項目の自由実験が盛り込まれ、各項目とも、導入・実験方法・結果の処理・問題の4段階の構成がとられ、一つの実験を十分時間をかけて大切に取り扱い、教師の指導によりクラスの討議を通して化学の原理を自ら再発見することができるように工夫されている。結果はカーボン紙で複写して提出するようになっている。

(3) Teachers Guide

各章に、ねらいとアプローチ・概要・新しい概念・展開と関連教材・実験・テキストの背景の論考・補助教材・質問および問題の解・オーブンブックテスト用示唆的問題の9項目に分けて教師のための知識・準備・指導方法などが実にゆきとどいた神経で極めて詳細に述べられている。

CHEMSの特質を正しく把握するためには、教科書と実験指針のみでは十分ではなく、この Teachers Guide によってこそ、その意図する所が明らかにされ、生気が吹きこまれるとすることができる。その意味で、既に(1)と(2)は日本でも翻訳出版されているが商業的にはその販路はかなり狭くなることは当然予想されるとはいえ、真に日本の教育の為の良心的な出版を考えられるならば、同じ出版社によって、この(3)もまた翻訳出版されることを切望するものである。

(4) Film

危険を伴う実験・時間や費用のかかる実験・また反応機構や原子や分子の構造や運動などは、実に適切なモデルやアニメーションを縦横に使われてみごとに表現されている。私も気体とその燃焼・反応の動力学触媒・化学平衡・酸と塩基・イオン化エネルギー・分子とスペクトル・量子力学より観た水素分子・分子構造と極性、などについては実際に見ることができたが、何れも実にみごとな作品で、生徒の原理の理解に資する所は非常に大きいと考えられる。

なお何れもカラーで、1巻約20分、20数巻が用意されている。

IV. CHEMSの特長

CHEMSプロジェクトにおいては既にその成り立ちの項で大筋は紹介しておいたが、特に強調する態度や構え、さらに方法や概念に極めて特長的なものが見られる。次にその主なものをあげてみよう。

(1) 観察について

CHEMSでは化学が実験的事実を研究し、それを基礎として組み立てられなければならないということ非常に強調している。これはテキストや実験の手引の表紙のデザインにまで、*「化学：実験の科学」*と大書されている程の徹底振りである。そうして、生徒は、学習を始めた最初の5時間は「ロウソクおよびその燃焼に関する実験」のみで、この5つの実験と、それに関する討議によって、先づ次のような観察の基本的態度を身につけさせられる。

1. 外観・臭い・手触りのような一見当りまえなように思われるものも、すべて大切な観察事項である。ただし味や臭いなどは毒性の無いことが知られない限り軽卒に試みてはならない。
2. 記述は定性的であるよりも定量的であることが一層望ましい。例えばロウソクの燃焼について「光を出す」というより、「普通の明るさの部屋でもその炎は光ってみえる」という記述の方がさらに望ましいのである。
3. 観察の内容に価値観を介入させてはならない。たとえばロウソクが燃焼に際して「音をたてない」ということと、「光を出す」という観察とは、同じ程度に価値がある。
4. 記述に際して「観察」と「説明」の混同をしないように。例えばロウソクが燃焼している時には、その皿状の部分に「無色の液体がある」というのは一つの観察であるが、「パラフィンがとけている」というのは説明であって観察ではない。

まして、燃えているロウソクを見ているだけで「水蒸気が発生する」などと記述するのは、とんでもないことである。

要するに「観察したこと」と、それがどんな意味もっているか、あるいは何故であるかを「考えること」とは厳に区別しなくてはならないことを生徒に強く印象づけようとしているのである。

(2) 実験について

われわれの受講した5日間のセミナーの午後の4時間は原則として実験で、2人1組となり1日に2~3項目の実験を *Laboratoy Manual* に従って実施した。講義の中でも要素々々で講師が強調されたり、私の直接の実験経験で感じた特長をあげてみよう。

1. Post Learning system

少数の例外を除いては、実験は何れも各章あるいは各節の導入的役割を果たすように計画されていること。

2. 理論の誤りと実験の誤りを混同してはならない
例えば Fe と S との反応比から FeS の式を求めようと計画しても原子数比 1:1 はでてこない。これを、実は 1:1 になるべきであったというような説明をすることは正しい態度とは言われない。

3. 自然現象のうちにかくされた *Regurality* の発見。

CHEMSの *Laboratoy Manual* だけを軽く一覧すると、気体の体積測定のパリエチレン袋とゴム栓との接合部の無細工さや、球入りビューレットのゴム管の遊びの多いことなどはすぐ目にとまる。さらに詳しく見ればこれに類する点は未だ少ない。然しこれは、このプロジェクトの全体の中に位置づけて見直す時、必ずしも欠点とはならず、少くともその中のかなりな部分は、実験が従来多くとられたような「確かめ」の実験になることを極力防止し、自然現象のうちにある *regurality* を「発見させる」ための、周到な計算に基づいたものと見るのが自然のようである。

4. 同一または類似の反応を定性より定量へと繰り返して研究の深め方を体得させる。

例えば *Expt. 1* は *Expt. 2, 4* へと、*Expt. 3* は *Expt. 26* へと、また *Expt. 12* は、*Expt. 13, 14* へとそれぞれ深められていっている類である。この傾向は、実験項目が40程度であることと考え合せると、実験のミニマムエッセンシャルズが、如何に厳しい、しかも自信にみちた篩にかけて選び出されているかを改めて痛感させられる。

(3) モデルについて

われわれが具体的な現象から出発してそれらの中に

見られる **regularity** に気づき、その再現性の確認から因果律へと **generalization** をおこない、更にこの因果律の説明から基本的概念へと発展してゆく流れは、必ずしも **CHEMS** 独自のものではない。しかし、その過程の、特に高校生程度では抵抗の大きい最終段階で、臨機応変に多種多様の具象的モデルを工夫して、一応の本質を要領よく把握させるように非常な努力を傾けている点は、**CBA** と比較して極めて特長的であるといえよう。

例えばアボガドロ数の概念を把握させるために、ボイルの法則の一般化から NH_3 と HCl の等体積の質量差の事実を如何に説明するかを考えさせ、「気体分子数は同数だろうから」を仮説とする場合と、「軽い方は数が少いからだろう」を仮説とする場合の何れも上述の事実を説明することはできるが、 NH_3 と HCl の反応体積の実験データから前者が仮説として正しいと結論し、更にその一般化からアボガドロ数へと展開してゆく第2章から第3章へかけての展開。またいわゆる **Space filling molecular model** を随所に使って、結合の長さ、結合角、などになじませ、分子の形・相対的大きさ・あるいは液体や固体の中における原子分子の充填の様子などを考えさせる有力な手段としている点、さらにステーションワゴンの床にまかれたゴルフボールの行動を考えることにより化学平衡を考えさせるなど、枚挙にいとまがない程である。

しかし、この点の一つにはモデルに限界があるということが高校生程度ではなかなか実感として把握しにくいことと、更に悪くすると如何に巧みに自然現象を説明するかという事が、化学の終点であるかのように錯覚される危険性もないとは言いきれないことを、忘れてはならないと思う。事実その反省から、**CBA** の特長の一つのようにになっている例のブラックボックスの実験（もっとも更にさかのぼるとソ連での着想とのことであるか）を、決定版では **Expt. 24** としてとり入れ、第14章の導入としていることは見落してはならない大切な点である。

(4) **CHEMS**において重視されている主な概念

このプロジェクトにおいては、大小数えあげれば、かなりの数に上る概念が盛りこまれているが、これらが綿密な計画の下に網の目のように相互に関連させられて、量的には従来と大差ないようでありながら、質的には数倍の機能を発揮するように編成されている。

これらの中でも、特に全体を貫ぬくバックボーン的位置を占めていると考えられる主要な概念を次に列挙してみたいと思う。

1. 原子・荷電量の保存則

従来の例では質量保存・エネルギー保存が表面

におし出されているわけであるが、**CHEMS** では原子および荷電量の保存則が強く表面に現れている（第3・5章）。これは、高校程度では導入はアプリアリであっても、実際の場合に適用するのに具象的な概念の方が抵抗が少いと判断に基づくものである。

2. 徹底した **mole** 概念の適用

相対的測定に基礎をおく原子量・分子量・当量などの現実との接触面として、グラム原子・グラム分子・グラム当量などの概念が生じたことは事新しく述べるまでもないことであるが、初学者には抽象的な思考に対する抵抗に加えて極めて似通ったこれらの概念を明確に区別することは決して容易ではない。

CHEMS ではこの盲点を逆用して、これらのすべてを **mole** 一本槍でおし通して、極めてすっきりした形に整理しているのは、大きな特色と言えるであろう。当量という概念、従って規定濃度も一切使われていず、「1 **mole** とはアボガドロ数個の単位粒子より成る純物質の質量」と定義し、(第2章) 1 **mole** の原子、1 **mole** の分子は当然としても 1 **mole** の電子という扱さえしている。

3. 化学反応とエネルギー

この面に関しても **CHEMS** は非常な重点を置いている。

まず **CBA** については、これがその一つの特長ともなっている自由エネルギー・エントロピーの問題であるが、**CHEMS** ではそれらの言葉こそ使用してはいないが、内容的にはかなりの程度に既に(3)のモデルに関する項でも触れておいたステーションワゴンの床にばらまかれたゴルフボールの例を使い、すべての系は最低エネルギー状態（化学的に安定な状態）に、また分布の角度から見ればその温度における最大分布状態に移行しようとすることを実に巧に説明している。そして化学平衡とは、この二つの要素の妥協の状態であると説明する。

さらにこのモデルに基づいて、気化や融解の現象も巧妙にさばいている点は見物である。化学反応とエネルギーの関係で、もう一つの特長としてあげておきたいのは、**Born-Haber** のサイクル（それと、はっきり名前はあげてないが）の考え方であり、これが多くの化学反応性を理解する手段として採用されていることである。

4. 気体分子運動論と反応機構

気体分子運動論については、1章を充ちし

ボガドロの法則もそれによって証明しているのも新しい試みであり、さらにその展開として衝突論を取り扱い、従来の高校程度の教科書には見られなかった反応機構の問題にも触れ、**rate process**にまで及んでいるのも注目される。

5. 平衡におけるきっこう作用の概念の拡張

CHEMSでは、折あるごとに一つの系においてはそのいくつかの可能な状態の間に常にきっこう作用がはたらき、全体の動向はこれらの作用の因子の組み合わせによって決定されるということを強調している。

それは既にあげた化学平衡の所で先づしっかりと基礎づけ、その基本概念が **Brönsted** の定義によって展開される酸・塩基反応においてみごとな展開を示し、平衡定数、緩衝溶液の **pH** の計算にまで及んでいる。

また酸化還元についても、それを電子の放出・吸収の反応として把握し、定量的には単極電位を用いて酸化剤・還元剤の強弱を示し、この **half reaction** の組み合わせによって、反応が全体としてどの方向をとるか予測するところまで誘導している所などは素晴らしいという外はない。

V. セミナー雑感

以上セミナーを通して私のつかむことのできた **CHEMS** の特長をまとめたのであるが、なおその周辺あるいはセミナー自体についての印象を書き留めておきたいと思う。

1. 先づこのプロジェクトを推進し、完成させた大学と高校の多数の教師の協力態勢、しかも十分な財政的裏付けの下に、多数の生徒に対して大規模な実験をくりかえして、改訂に改訂を重ねて、固めてゆく実証的なカリキュラムの構成法、わが国の現状と思い併せると、全く羨望の限りである。
2. 成案を得て、正式の出版まで行なわれたのに、なお委員会は活動を継続し、1967年には、その間に得られた教育的データと、その間の化学の進歩を織り込んでさらに改訂する計画がたてられているとは、大したものと言う外はない。
3. このようながっちりした裏付けがあるからこそ、二人の講師の自信満々たる態度（外少は、テレ屋の日本人とは違う国民性による点もあったと思われるけれども）もさこそうなづかれた。
4. 講師のことになるが、定刻前から来て準備をし、時間通りに始め、暑いからなどということは全く考慮外で、定刻までびっしりやる態度、心か

ら敬服させられた。また大学と高校の教師である二人の講師の、セミナーの中での分担の周到な計画性と、みごとと言う外はない素晴らしいチーム・ワーク（**O'conner** 氏の担当の時は **Byrne** 氏が、またその反対の場合は **O'conner** 氏が神経の行き届いた助手の役を勤めていたことなど）、それに無駄の少い洗練された話術、何れもセミナーの内容外ではあるが、大きな収穫であった。

5. **CHEMS**カリキュラムの予定時間は週7時間、履習者は選択という米国の条件と、日本の週4時間、履習者は全員必修に近いという条件との差の大きさは、いろいろな点で、考えさせられる。

6. 最後に **CBA** との比較であるが、まず米人が好んで用いる表現である「**CHEMS** は **evolution** であるが、**CBA** は **revolution** だ」というのは簡にして、大体の性格を言い得ていると思う。しかし注意しなくてはならないのは、両者は対抗するものではなく、同じ目標に向っている別な出発点にすぎないという点である。

CBA が共有結合からイオン結合への流れをとっている以上、それがかなり物理学的な導入段階をとらざるを得ないのは当然のことであるし、また実験からの導入をねらっている **CHEMS** が、より化学的であり、また実験を大切に扱っており、その扱い自体のきめも細くなることはまた当然と言いうる。しかし根本的には実験重視の立場をとっていることは、どちらも完全に一致していると断言してよいと思う。

また考え方も単なる記憶を極力排除し、理解と発展に主眼を置き、豊富な資料を用意し、それを如何に活用するかに力点を置いていることは、最も根本的なところではないかと思う。

VI. おわりに

CHEMS の教科書と実験の手びきは、幸にして翻訳され、かなり急速に普及しているようであるが、このプロジェクトの妙味が発揮されるか否かは、この二冊のみごとなからみ合いのしくみを把握するか否かにかかっていると言っても過言ではないと思う。いづれ何らかの形で **Teachers Guide** の完訳ではなくとも、要訳くらいは出版されると思うが、それまでの空白に対し多少の足しになるかと考え、**Teacherr Guide** の中から、カリキュラムの展開の時間割の要点を訳して付表とした。活用して頂ければ望外の喜びである。

CHMS セミナーに参加して

(付表) CHEMSカリキュラムの展開時間割
(Teachers Guide による)

章	時限	主 題
1 (化学 .. 実験の、科学)	1	実験1: 科学的観察と記述 実験の手引きを配布
	2	デモ: バーナの使用法 実験2: 固体の加熱
	3	実験3: 純物質の融解温度 テキストの配布
	4	実験4: ろうそくの燃焼 (クラス実験)
	5	討議: 科学の活動 今日までの実験の復習
	6	デモ: 天秤の使用法 実験5: 熱の影響
	7	討議: 科学における, 確かさ
	8	第1章 および実験1~5の復習
2 (科学的模型 .. 原子説)	1	実験6: 同体積の気体の重量
	2	気体のPV関係
	3	分子・原子・気体反応と体積 フィルム: 気体とえの反応
	4	分子の相対質量, 二原子分子
	5	液体と固体における原子, 元素と化合物
	6	質量の保存 実験7: 硝酸銀水溶液に銅を浸すとどうなるか。(開始)
	7	実験7: (継続) 化学式, モル
	8	実験7: (完了) 実験8: 化学変化に伴う質量関係(開始)
	9	原子量・分子量 問題 討議: 実験7
	10	復習, 質問
3 (化学反応)	1	実験8: (継続) 質量の保存
	2	実験8: (完了) 討議: 質問, 水の合成と分解
	3	討議: 実験8
	4	討議: 化学反応式
	5	討議: ク
	6	討議: 化学反応式による計算 復習, 質問

章	時限	主 題
4 (気相 .. 分子運動論)	1	討議: 気体1モルの体積, アボガドロの仮説
	2	討議: 分圧
	3	実験9: 金属と塩酸の反応の定量的研究 水素ノモルの体積
	4	討議: 実験9
	5	フィルム: 気体の圧力と分子の衝突 デモ: 圧力と温度の関係 討議: 絶対温度
	6	問題, 復習
	7	テスト: 第1~4章
5 (液体と固体 .. 凝相の物質)	1	テストについて復習 討議: 純物質, 相変化 デモ: 液体の蒸気圧
	2	討議: 溶液, 濃度
	3	実験10: 沈でん反応 (第II部まで)
	4	実験10: (完了) 物質の電気的本性 フィルム: 化学における電気的相互作用
	5	討議: 実験10
	6	討議: イオンとその反応 デモ: 電気伝導度
	7	実験11: イオン反応
	8	討議: 実験11
	9	討議: イオン性固体 問題
	10	復習, 質問
6 (原子構造と周期表)	1	討議: 核のある原子
	2	討議: 周期表, 貴ガス フィルム: 化学の族
	3	討議: アルカリ金属(フィルム該当部分再映)
	4	討議: ハロゲン (ク)
	5	討議: 水素 (ク)
	6	討議: 第3周期元素 (ク)
	7	復習, 質問
7 (化学反応に)	1	実験13: 反応熱 反応熱・熱容量・加成性の発見
	2	討議: 実験13, 加成性の法則の応用
	3	討議: 運動エネルギーとポテンシャルエネルギー

教科教育研究

章	時限	主 題	章	時限	主 題	
するエネルギーの影響)	4	討議：化学エネルギー, エネルギー保存	の酸と塩基)		指示薬	
	5	討議：分子にたくわえられたエネルギー フィルム：分子振動と分子運動		5	討議：滴定, pH, $H^+(aq)$ の性質	
	6	討議：核エネルギー		6	討議：酸の強度と平衡	
	7	復習		7	実験19: ル・シヤテリエの原理の可逆反応への応用 ル・シヤテリエの原理	
8 (化学の反応の速さ)	1	実験14: 時計反応		8	討議：ブレンシュテッドの理論	
	2	フィルム：分子運動論的反應論入門 反応速度に影響する諸因子		9	復習 フィルム酸・塩基, 指示薬	
	3	反応機構		12 (酸化還元)	1	実験20: 酸化還元入門 酸化還元反応
	4	温度の影響, エネルギー分布			2~3	実験21: 化学電池 電池
	5	フィルム：触媒 活性化エネルギー				フィルム：化学電池
	6	触 媒	4		討議：電子放出性, E°	
	7	実験14a: 接触反応	5		討議：反応の予言 フィルム：硝酸	
	8	フィルム：触媒 (再映) 復習	6~7		討議：酸化数, 酸化還元反応の係数を合わせる	
9 (化学反応における平衡)	1	討議：平衡の確認, 動的平衡 デモ：化学平衡 ($NO_2-N_2O_4$)	8		討議：電気分解	
	2	討議：ルシヤテリエの原理 フィルム：化学平衡	9		復習テスト	
	3	デモ：化学平衡 ($Fe(SCN)^{+2}$ 系) 実験15: 化学平衡 (開始)	13 (モル計算)		1	化学量論計算の型
	4	実験15: (完了)		2	実験22: 溶液におけるイオン間の反応 反応の予言	
	5	討議：実験15, 平衡概念の適用		3	問題：気体の体積, 溶液	
	6	例題 討議：化学平衡の法則		4	実験23: 滴定 (開始)	
	7	討議：平衡を決定する諸因子		5	実験23: (完了)	
	8	問題		6	問題	
10 (溶解平衡)	1	討議：平衡過程としての溶解度	14 (原子が存在する理由)	1	実験24: 論理的モデルの構成, 実験25の電極の秤量 討議：塵芥車の比喩と論理的推理	
	2	討議：溶解度に影響する諸因子 実験16: 醋酸銀の溶解度積定数の決定		2	実験25: 電気分解に関する Cu, Ag, 電子のモルの関係	
	3	討議：溶解度の定量的取扱		3	討議：帰納法, 化学の原子論(定比例の法則・倍数比例の法則・フラーデーの法則・物質の電気性)	
	4	討議：実験16, 定量的取扱, K_{sp}		4	討議：例題 14-1, 2 討議：放電管, 電子の電荷, $\frac{e}{m}$, 質量分光器	
	5	問題演習		5	例題 14-3, 4 討議：ラサフオードの実験と有核原子,	
11 (水溶液中)	1	討議：強電解質と弱電解質, 水				
	2	実験17: 酸塩基反応の反応熱 デモ：酸塩基の電気伝導度				
	3	討議：酸・塩基の性質と定義				
	4	実験18: 指示薬による溶液中の $[H^+]$ の決定				

CHMS セミナーに参加して

章	時限	主 題	章	時限	主 題
	6	光の本性 フィルム：分子分光器 (または、結晶とその構造) 討議：主として振動スペクトル(赤外)			
15 (電子と周期表)	1	周期表, 光エネルギー, 水素のスペクトル, V字切り刻みをほどこした棒の比喩 デモ：水素のスペクトル	18 (炭素化合物の化学)	1	分子構造, エチル族
	2	エネルギー単位		2	臭化メタンと臭化エタンの化学性
	3	量子数と軌道 フィルム：量子力学より見た水素原子		3	実験28: 炭化水素およびアルコール類の二三の反応
	4	水素原子と周期表, 多電子原子		4	酸化反応 フィルム：有機化学反応の機構 フィルム：有機化合物の合成
	5	イオン化エネルギー		5~6	実験29: 有機酸誘導体の合成
	6	フィルム：イオン化エネルギー		7	命名法
	7	第4周期元素 復習		8	ベンゼン誘導体
				9	重合体 (随意) 実験29 a: いくつかの重合体の製造
				10	復習
16 (気相における分子)	1	共有結合 フィルム：化学結合		19 (ハロゲン元素)	1
	2	化学結合の表示	2		実験30: KI水溶液の電解
	3~4	I族の結合能力, 分子式の予言	3		討議：ハロゲンの還元 フィルム：臭素—海から得られる元素—
	5	結合型の傾向(共有とイオン)	4		討議：決定的な酸化状態, 弗素
	6	分子構造 フィルム：分子の形と極性	5		実験31: 沃素の化学
	7	分子構造, 二重結合と異性体 実験26: 1対のシス・トランス異性体の性質(開始)	6		復習
	8	実験26: (完了) 復習	20 (周期表の第三周期)	1	デモ：第三周期の化学(教師実験の部) 討議：物理性
				2	討議：酸化還元
		3		実験32: 第三周期の化学(生徒実験の部)	
		4		討議：水酸化物の酸・塩基性	
		5		討議：産状と製法 復習	
17 (固体および液体における結合)	1	固体内のファンデルヴァールス結合と共有結合	21 (周期表の第二族元素)	1	実験33: 定性分析の方式の出発点
	2	実験27: 結晶内の原子またはイオンの充填(I~V) 同じ大きさの球による充填		2~3	討議：電子配置, 原子の大きさ, イオン化エネルギー
	3	金属とその性質		4	討議：化学性
	4	分子性固体, 網状構造固体, 合金		5	実験34: 溶解度
	5	イオン性固体		6	討議：溶解度
	6	実験27: (VI, VII) 2種の大きさの球による充填		7	討議：産状と製法 (随意) 実験35: Ag ⁺ , Hg ⁺² , Pb ⁺² の定性分析 (随意) 実験36: 未知陰イオン定性分析の方式の出発点
	7	極性分子, 水素結合		22 (第四)	1
	8	フィルム：結晶とその構造 復習	2		実験39: 錯塩
		3	討議：実験39, 錯塩		

教 科 教 育 研 究

章	時限	主 題
周期の遷移元素)	4	討議：天然に産出する錯化合物
	5~6	討議：Sc~Cr
	7	討議：Mn~Co
	8	討議：Ni~Zn
	9~10	実験37：イオン交換樹脂による遷移イオンの分離
	11	復習
23 (性遷移六元素・七周期の特)	1	討議：第6, 7列元素
	2	討議：アクチニッド フィルム：超ウラン元素
	3	討議：核の安定性, 放射能, 核エネルギー

章	時限	主 題
24 (の生面化学の化学のく応用か)	1	討議：糖類
	2	討議：セルロース, 澱粉, 油脂
	3	討議：自然界のエネルギー源
	4	討議：生化学における分子構造
	5	復習 (または任意討議) フィルム：生化学と分子構造
25 (恒地球の惑星化学)	1	地球の構造
	2	元素の利用の可能性, 地球の年齢
	3	惑星の化学
	4	恒星 復習