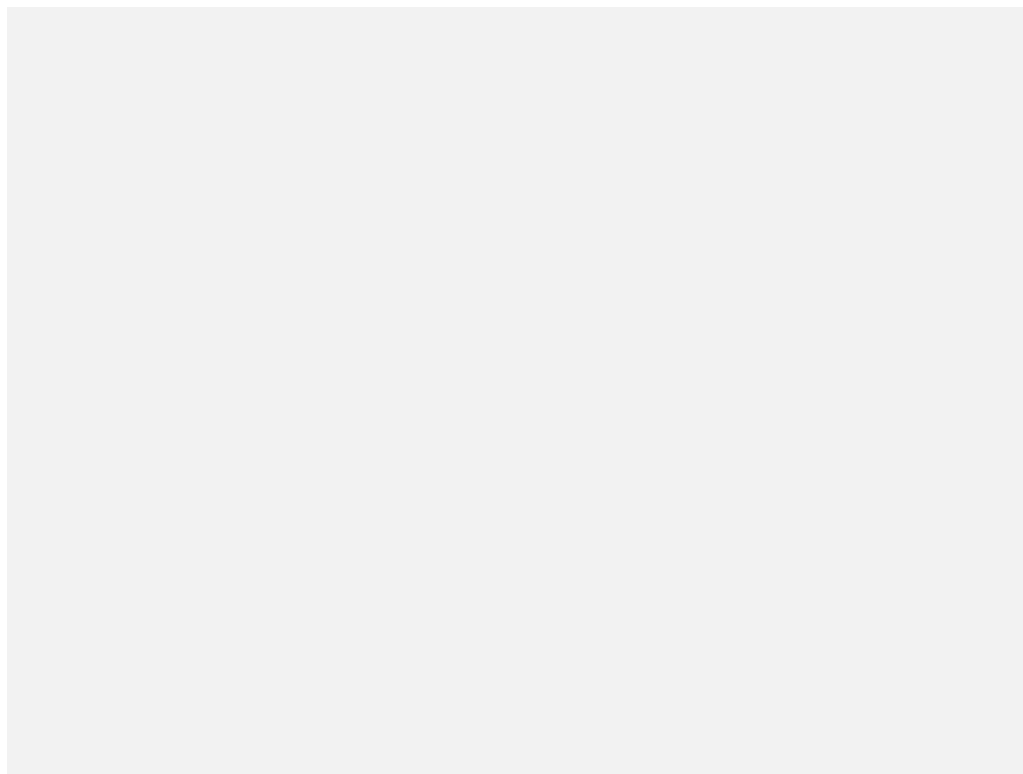


## 「化学工学序論」より、化学工学の体系と単位操作



文1・この図はこれからお話しする内容をまとめたものです。

文2・まず化学産業について解説します。

文3・そのあと化学産業以外の産業についても例を挙げてお話しします。

文4・つぎにこれから勉強する化学工学について解説をしていきます。

文5・具体的には、この単位操作を通して化学工学の特徴を理解してもらおうと思います。

文6・次に例題を解きながら、この物質収支を理解し、化学工学の内容の一部にも触れてもらいたいと思います。

文7・化学産業において、様々な原料を様々な製品に変換して市場に出します。

文8・例えば、石油からはガソリンや軽油が作られます。

S1・This figure shows the topics I'll discuss in this lecture.

S2・First, I'll explain the chemical industry.

S3・Then, I'll talk about other industries and provide some examples.

S4・Next, I'll explain chemical engineering, the field you'll study.

S5・Specifically, I want you to understand chemical engineering in terms of unit operations.

S6・I also want you to understand mass balance and we will touch upon a part of chemical engineering through solving an exercise.

S7・The chemical industry provides the market with a variety of products made from various raw materials.

S8・For example, gasoline and diesel oil are made from petroleum.

文 9・食塩からは水酸化ナトリウムや塩素が作られます。

文 10・石油からは化学原料が得られ、さらにそれらはプラスチックや樹脂になります。

文 11・このため、たくさんの化学プロセスが存在します。

文 12・また、化学産業に限らず、我々の暮らしはさまざまな産業に支えられています。

文 13・電気を作る発電所、水をきれいにする浄水場、食品を作る工場、などたくさんの種類のプラントがあり、たくさんのプロセスが存在します。

文 14・化学工学は、こうしたプロセスをうまく設計し、うまく運用するための学問です。

文 15・『うまく設計し、うまく運用する』、これは具体的にどのようなことを意味しているのでしょうか？

S9・Sodium hydroxide and chlorine are made from salt.

S10・Other chemical materials made from petroleum, are plastic and resin.

S11・There are many chemical processes.

S12・However, modern life is supported by not only the chemical industry, but also various other industries.

S13・There are power plants for electric energy, and filtration plants for water and food processing plants, each of these uses many processes.

S14・Chemical engineering helps us to design the processes well, and to run them well.

S15・So, what exactly is the meaning of “design well and run well” ?

## キーワード(Key words)

- ・ 化学工学

## 関連用語(Related terminologies)

- ・ 装置(そうち) : equipment
- ・ 化学プラント(かがくぷらんと) : a chemical plant
- ・ 無機化学工業(むきかがくこうぎょう) : inorganic chemical industry
- ・ 有機化学工業(ゆうきかがくこうぎょう) : organic chemical industry
- ・ 石油化学(せきゆかがく) : petrochemistry
- ・ 石油化学工業(せきゆかがくこうぎょう) : the petrochemical industry
- ・ 石油化学工場(せきゆかがくこうじょう) : a petrochemical plant
- ・ 石油化学コンビナート(せきゆかがくコンビナート) : a petrochemical complex

## 日本語解説

文 1 「お話しする」: 「お」 + 「話し」 + 「する」の形(form)は、「へりくだる(humble oneself)」言い

かた  
方です。

例：お待ちする 「待つ(to wait)」の「ます形(masu-form)」を使います。

文1 「まとめる」：いろいろな意味がありますが、ここでは、" summarize" です。

例：意見<sup>いけん</sup>をまとめる sum up opinions

実験<sup>じっけん</sup>の結果<sup>けっか</sup>をまとめる put together the results of the experiment

文3 「例<sup>れい</sup>を挙<sup>あ</sup>げる」：「挙<sup>あ</sup>げる」は、ここでは「示<sup>しめ</sup>す(show)」と同じ意味です。

文5 「理解<sup>りかい</sup>してもらおう」：「理解<sup>りかい</sup>する(to understand)」のは、講義<sup>こうぎ</sup>(lecture)を聞<sup>き</sup>く人<sup>ひと</sup>です。ここでは、  
講義<sup>こうぎ</sup>をする人<sup>ひと</sup>(lecturer)が聞<sup>き</sup>いている人<sup>ひと</sup>に理解<sup>りかい</sup>できるように講義<sup>こうぎ</sup>をすること  
ということです。

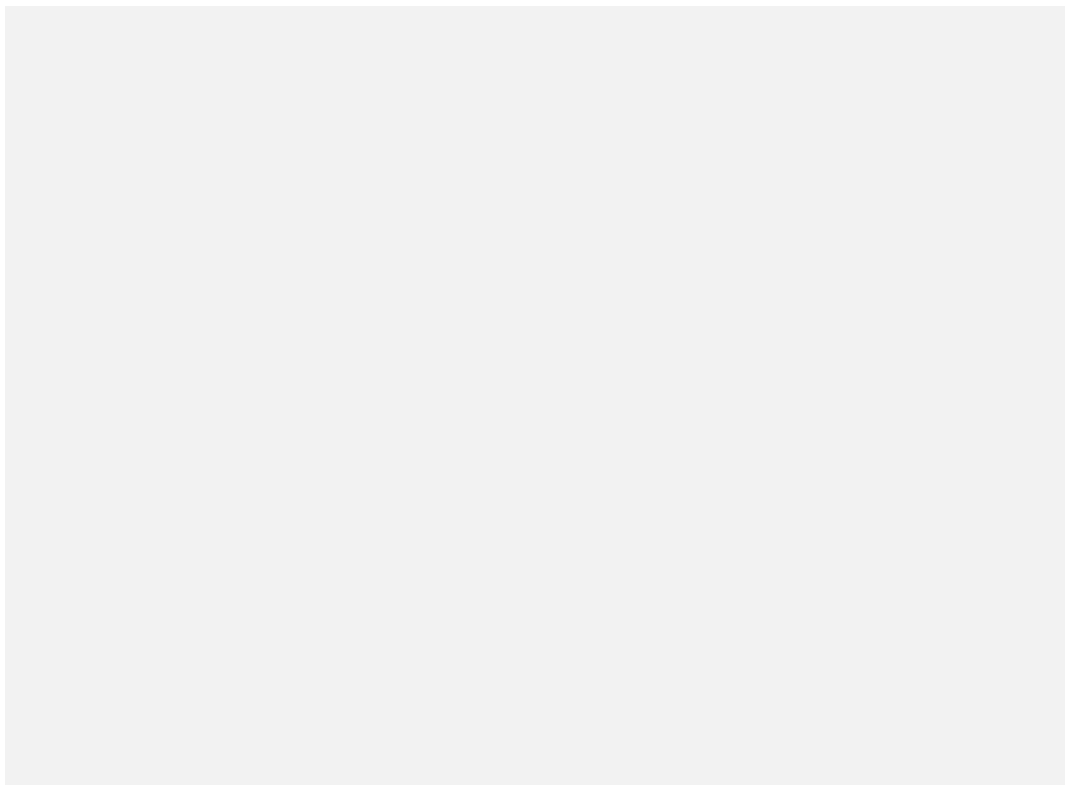
文6 「触<sup>ふ</sup>れる」：「手<sup>て</sup>で触<sup>ふ</sup>れる」というのは、" touch with the hand" というのですが、ここでは、  
講義<sup>こうぎ</sup>の内容<sup>ないよう</sup>(contents)をちょつと勉強<sup>べんきょう</sup>することです。

文8 「石油<sup>せきゆ</sup>」：「油<sup>ゆ</sup>」は、「油<sup>あぶら</sup>」とも読<sup>よ</sup>みます。

例：石油<sup>せきゆ</sup>(petroleum)、軽油<sup>けいゆ</sup>(diesel oil)、オリーブ油<sup>ゆ</sup>(olive oil)

文12 「暮<sup>く</sup>らし」：「暮<sup>く</sup>らす」というのは、毎日<sup>まいにち</sup>の生活<sup>せいかつ</sup>(daily life)をすることです。

例：日本<sup>にほん</sup>の暮<sup>く</sup>らしはどうですか。



文1・これは一言で言うならば、いかに無駄を無くすか、ということです。

文2・昔はこの目的を達成するために経験や勘といったもので対処してきました。

文3・しかし、これをもっと科学的に、そして合理的に処理する手段が求められるようになってきました。

文4・これが化学工学の原型です。

文5・化学工学とは、どうすれば安定して、より安価に、そしてより安全に大量生産できるかを目的とした学問であり、それらを達成するためのツールです。

文6・つまり右に示すように、実験や研究で扱うラボスケールから工業や産業で扱う工業的規模、プラントスケールへの橋渡しをするのが化学工学です。

文7・化学工学はもともと20世紀の石油・石油化学時代に入りプロセスの合理化を目的として、アメリカで誕生した学問です。

S1・Saying a simple phrase, it is how uselessness is decreased.

S2・It has dealt by the experience and intuition to achieve this purpose in old time.

S3・However, more scientific and efficient processes are now required.

S4・This is the prototype of chemical engineering.

S5・Chemical engineering studies problems relating to stable mass production of ,materials, at low cost, and greater safety, and the tools required to achieve this.

S6・The figure on the right shows that chemical engineering ranges from lab scale to plant scale, and to experiments and research in industry.

S7・Chemical engineering originated in the United States in the petrochemical age of the 20th century with the aim of



文8 ・その特徴<sup>とくちょう</sup>について、ビール製造<sup>せいぞう</sup>プロセス  
を例<sup>れい</sup>にお話<sup>はな</sup>します。

rationalizing the process.

S8・Next, I'll talk about features of the beer  
manufacturing process as an example.

## キーワード(Key words)

・ラボスケール    ・工業<sup>こうぎょう</sup>的規模<sup>てききぼ</sup>(プラントスケール)

## かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

- ・ エンジニアリング(えんじにありんぐ):engineering
- ・ 装置産業(そうちさんぎょう):process industry

## にほんごかいせつ 日本語解説

文1 「一言<sup>ひとこと</sup>で言う<sup>い</sup>」:「一言<sup>ひとこと</sup>」は、「one word」です。ここでは、「簡単に<sup>かんたん</sup>(briefly)言う<sup>い</sup>」という意味で  
す。「一言<sup>ひとこと</sup>」には、「a few words」<sup>い</sup>という意味もあります。

例:一言<sup>ひとこと</sup>ごあいさついたします。I' d like to say a few words.

文1 「無駄<sup>むだ</sup>」:「駄<sup>だ</sup>」は、「つまらない(worthless)」という意味の接頭辞<sup>せつとうじ</sup>(prefix)です。ここでは「waste」  
ということです。

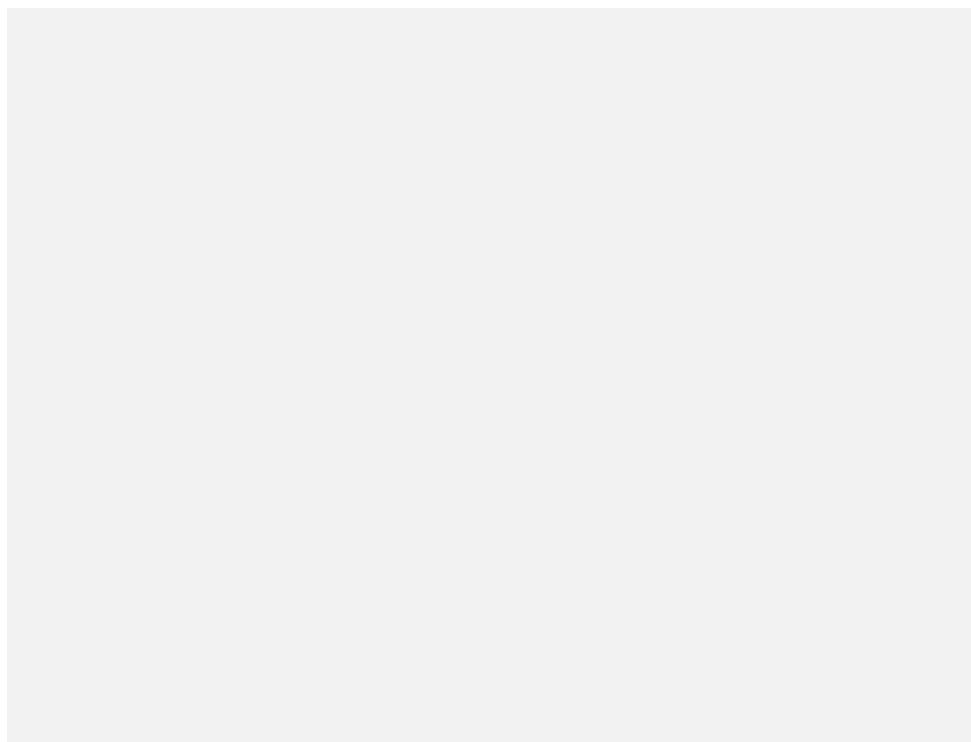
例:時間<sup>じかん</sup>とお金<sup>かね</sup>の無駄<sup>むだ</sup> a waste of time and money

文2 「勘<sup>かん</sup>」:「intuition」 という意味です。

例:あの人<sup>ひと</sup>は勘<sup>かん</sup>がいい He is quick to learn.

文6 「ラボスケール」:「スケール」というのは「規模<sup>きぼ</sup>」です。大き<sup>おお</sup>さということです。

文7 「もともと」:はじめから、最初<sup>さいしよ</sup>から(from the beginning, originally)



- 文1・化学工学の特徴の一つに単位操作という手法があります。
- 文2・これは一連の複雑な製造プロセスを単純な操作にひとつひとつ分割することです。
- 文3・そしてプロセスとはそれら操作の組み合わせとして理解する考え方です。
- 文4・例えば、ビールの製造プロセスでは次のような単位操作に分けることができます。
- 文5・粉碎とは、原料の麦を細かく砕く操作です。
- 文6・混合とは原料を偏りのないように混ぜる操作です。
- 文7・加熱は熱を加える操作、発酵は酵母によって糖からアルコールをつくる操作、濾過はフィルターで不要なものを取り除く操作です。
- 文8・このように単位操作とは、化学工学の体系の基礎となるものです。
- 文9・ほかにもガソリンの製造や浄水を例にみてみましょう。

- S1・Chemical engineering uses a method called unit operation as one of its features.
- S2・This divides a series of complicated processes into individual simple operations.
- S3・The concept is that the whole process is a combination of those operations.
- S4・For example, you can understand that the beer manufacturing process has the following operations:
- S5・Crushing is an operation that crushes wheat, the raw material.
- S6・Mixing is an operation that mixes the raw materials effectively.
- S7・Heating is an operation that applies heat, fermentation is an operation that produces alcohol from sugar and yeast, and filtration is an operation to remove unnecessary contents.
- S8・As you can see, unit operation is the basis of the system of chemical engineering.
- S9・Let's look at an example in the manufacture

of gasoline.

## キーワード(Key words)

・単位操作 たんいそうさ    ・粉碎 ふんさい    ・混合 こんごう    ・加熱 かねつ    ・発酵 はっこう    ・濾過 ろか

## かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

・ 反応操作 (はんのうそうさ) : unit process

## にほんごかいせつ 日本語解説

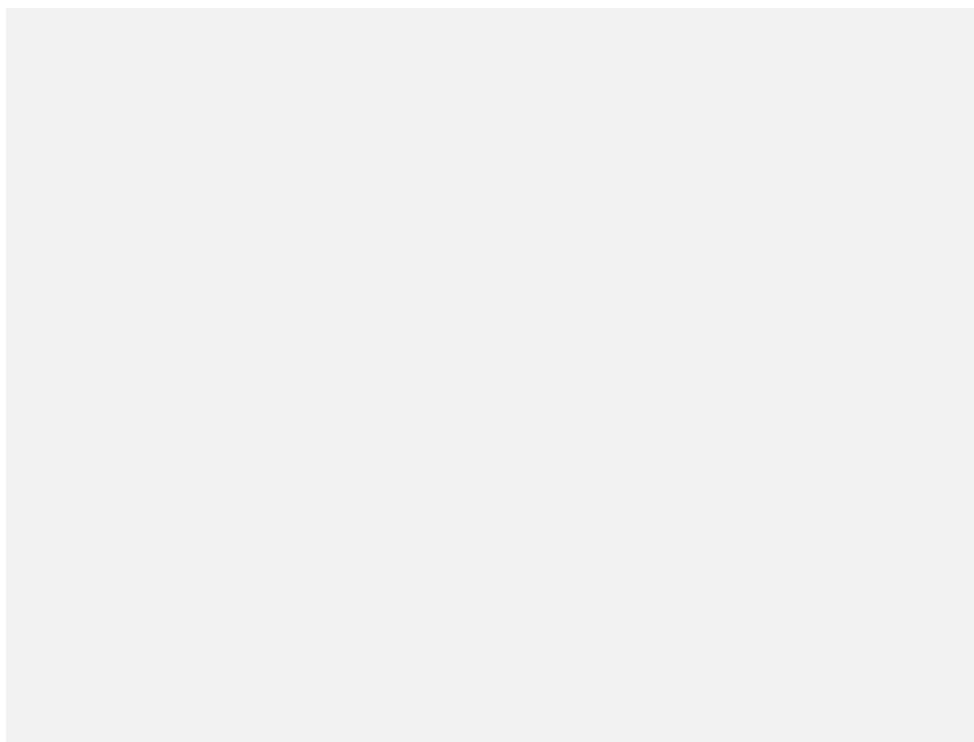
文1 「手法」: 何かをする方法(method)のことです。

文2 「一連の」: 「ひとつに続いた」ということです。

文5 「粉碎」: 「粉」は、「粉(powder)」とも読みます。「碎」は「砕く(crush)」ですから、「粉」のように「砕く」ということです。

文6 「偏り」: 「偏る」は、一方による(go to oneside)ことです。「偏」とも読み、考え方にも使います。

例: 「偏見」 prejudice へんけん



文1・例えば、ガソリンの製造プロセスではこの  
ような単位操作に分けることができます。

文2・蒸留とは、液体のモノ同士あるいは気体の  
モノ同士を沸点の違いで分ける操作です。

文3・石油は多くの成分が混ざった状態で存在し  
ているので、この蒸留を複数回行うこと  
でガソリンを抜き出します。

文4・反応とは硫黄分や窒素分を取り除く操作で、  
触媒を利用したり加熱したりして反応を  
促します。

S1・You can understand that the gasoline  
manufacturing process has the following  
operations.

S2・Distillation is an operation that separates  
liquid or gas mixtures by differences in the  
boiling point.

S3・Petroleum contains many components, so  
many distillation operations are needed to  
obtain gasoline.

S4・Reaction is an operation to remove sulfur  
and nitrogen, and is promoted by using a  
catalyst and heating.

## キーワード(Key words)

・蒸留      ・沸点      ・反応      ・触媒

## 関連用語(Related terminologies)

・ 蒸留塔 (じょうりゅうとう) : distillation apparatus

- ・ 反応器 (はんのうき) : reactor

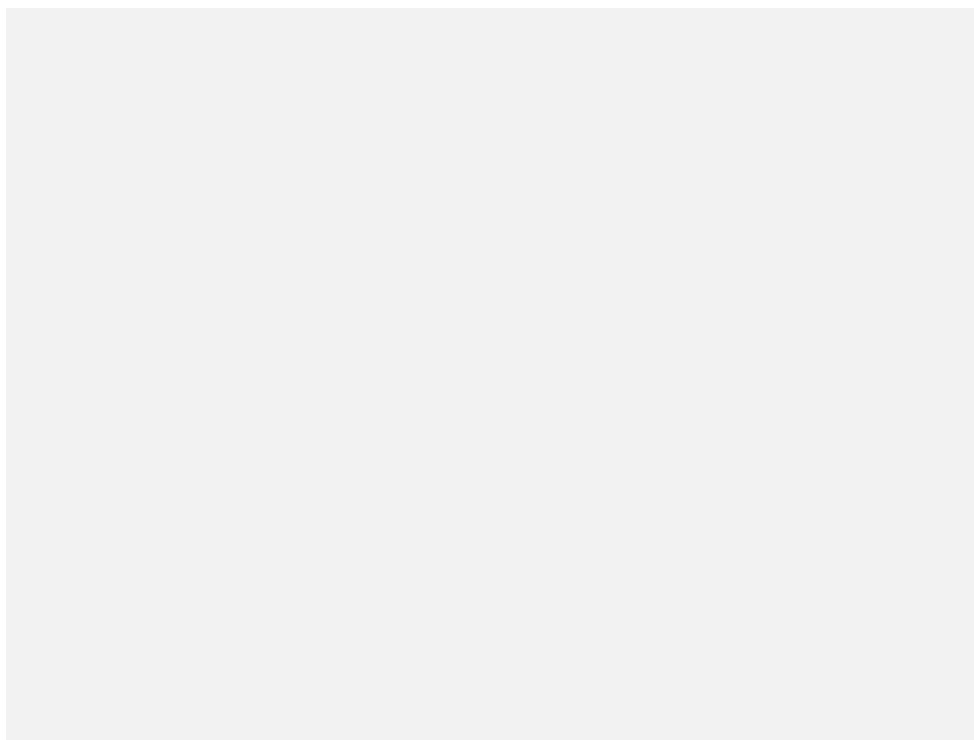
にほんごかいせつ 日本語解説
-------------------

文2 「蒸留」: 「蒸」は、「蒸す(to steam)」と読みます。

文2 「沸点」: 液体(liquid)が沸騰する(to boil)温度(temperature)。水は、沸点は  
摂氏(centigrade)100度です。

文4 「～分」: 「～」を成分(ingredient)としてもっていること。

例: アルコール分のない飲み物  
塩分のおおい食べ物



文1・浄水プロセスではこのような単位操作に分けることができます。

文2・沈殿とは、固体のゴミを沈めさせる操作です。

文3・濾過とはフィルターで小さなゴミを取り除く操作です。

S1・In another example, you can see that the process of obtaining clean water has these operations:

S2・Sedimentation is the operation in which the suspended solids are allowed to sink in the liquid.

S3・Filtration is an operation that removes small debris with a filter.

## キーワード(Key words)

・沈殿  
(ちんでん)

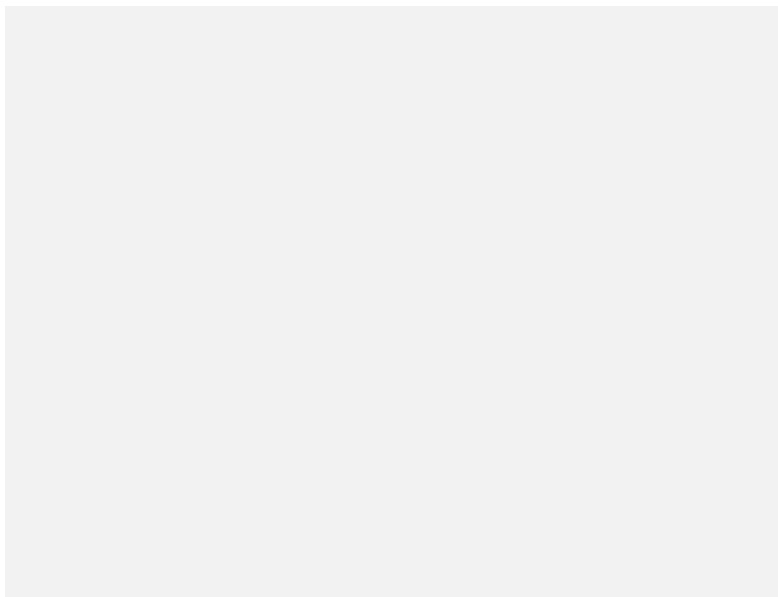
## 関連用語(Related terminologies)

- ・ 沈殿槽 (ちんでんそう) : a settling tank (a processing tank)

## 日本語解説

文1「浄水」:「浄」は、きれいなこと。「浄水」は、きれいな水です。水をきれいにするには、「浄化する(purify)」と言います。

文2「沈殿」:「沈」は、「沈む(to sink)」と読みます。水の上にあったものが、下にいくことです。



文1・このように単位操作という概念を持ち込むことで、さまざまな産業に対応することができます。

文2・つまり、単位操作の組み合わせ、順序、扱っているものが異なるだけで、操作そのものは同じであるため、解析する操作の本質はすべて同じです。

S1・Therefore, the concept of unit operation is applicable to various industries.

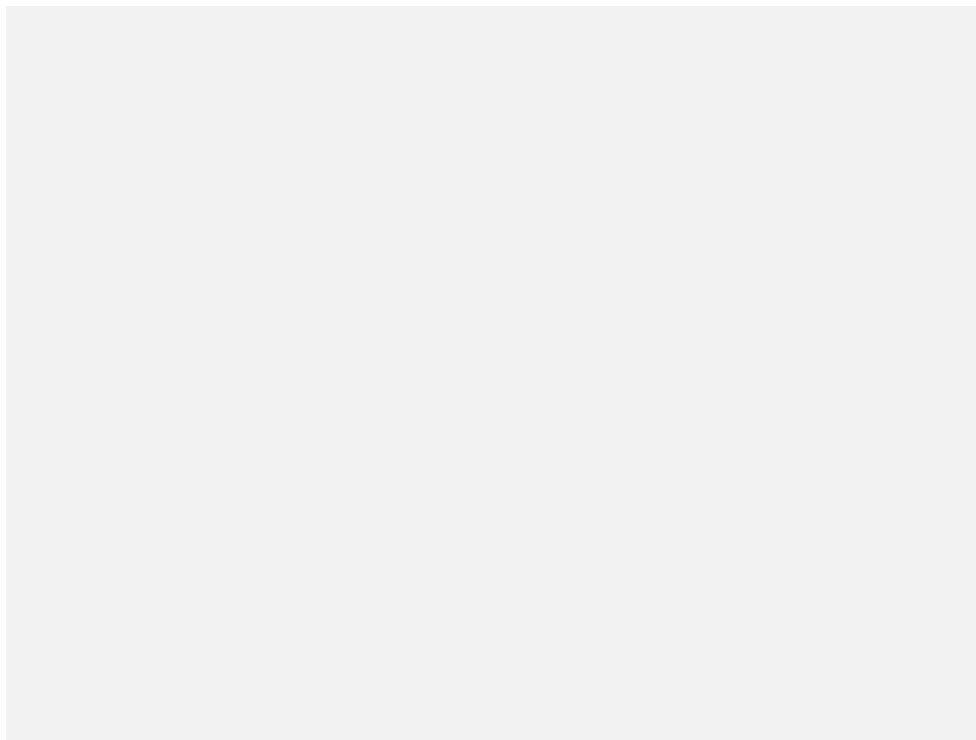
S2・That is, the combination of unit operation and order only differ for the material under treatment, and since the operation itself is the same, analysis of the operation is in essence the same.

### にほんごかいせつ 日本語解説

文1「持ち込む」: 持って入る (to enter) ことですが、ここでは、「導入する (to introduce)」という意味です。

文2「扱っているもの」: 「扱う」は、何かを「処理する (process)」ことです。ここでは、処理するものということです。

文2「～だけで」: 「異なるだけで」は、「違っている (different) だけ」と同じです。「扱っているもの」の他は (other than)、同じということです。



文1・ここまでに示した例以外に、「単位操作」にはどのようなものがあるのでしょうか？

文2・これは、化学工学会の東海支部が化学工学の初学者向けに執筆した教科書です。

文3・ここで取り上げている「単位操作」を目次から拾い上げてみましょう。

文4・ここにあげたように流動、伝熱・蒸発、蒸留があります。

文5・多少の違いはあるかも知れませんが、他の入門書も同じようなキーワードが並んでいます。

文6・複雑な化学プロセスも、うまく切り分けると、こうした限られたカテゴリーの単位に分割していくことができるということです。

文7・この一つ一つが「単位操作」といわれるものです。

S1・Can you think of other examples of unit operation besides the example shown here?

S2・This textbook is written by the Tokai branch of The Society of Chemical Engineers for beginners of chemical engineering.

S3・Let's attempt to grasp the meaning of unit operations from the contents of this book.

S4・As this book states, fluid dynamics, heat transfer, evaporation, distillation and so on are unit operations.

S5・There are similar keywords in other textbooks for beginners, although you might notice some differences.

S6・Even for a complicated chemical process, we can separate the categories in each limited field.

S7・This is the meaning of unit operation.



文8・これらの、単位操作は、取り扱う化学種には依存しないので、これだけの限られたカテゴリで、多様なプロセスに対応できます。

文9・たとえば、「蒸留」という単位操作は、1) 極めて低温で行う、空気からの酸素と窒素の分離や 2) 厳密な制御が必要な、ウイスキーや焼酎の製造、あるいは、3) 非常に広い温度範囲で大規模に実施される石油精製など、一見全く異なるプロセスに共通して適用できる「単位操作」です。

S8・These unit operations can be applied to various processes by such limited field because an idea of unit operation is not shown in handled chemicals.

S9・For example, distillation is a unit operation that can be applied to different processes; for example, 1) the separation of oxygen and nitrogen from air, which requires an extremely low temperature; 2) the manufacturing of whisky and shochu, which requires strict control; and 3) the refinement of petroleum, which involves large-scale and wide-temperature-range distillation.

## キーワード(Key words)

- ・流動
- ・伝熱
- ・蒸発
- ・ガス吸収
- ・膜分離
- ・抽出
- ・吸着
- ・粉流体操作
- ・固液分離
- ・攪拌
- ・プロセス制御
- ・反応工学

## 関連用語(Related terminologies)

- ・ 反応解析 (はんのうかいせき) : reaction analysis
- ・ 反応器設計 (はんのうきせつけい) : reactor design

## 日本語解説

文2「初学者向け」:「～向け」というのは、「～を対象(target)として」ということです。ここでは、「初学者」ですから、初めて(first time)勉強する人です。

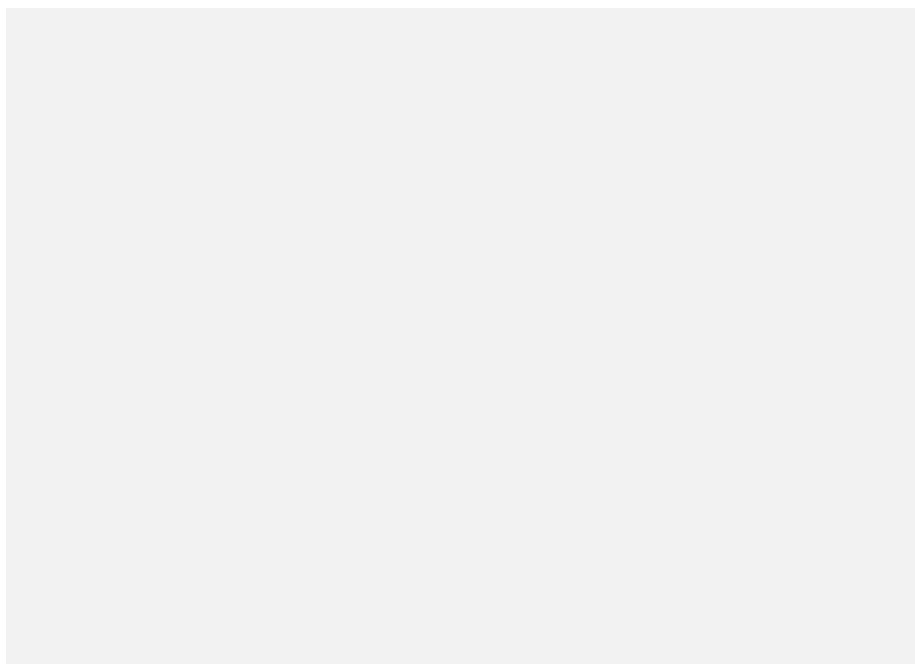
例: 子供向けの本(a book for children)

文3「拾い上げる」:「上げる」は、低い(low)ところから高い(high)ところに移す(to move)ことです。いろいろな動詞(verb)と複合動詞(complex verb)をつくれます。

例: 拾い上げる pick up、取り上げる take up

文6「うまく」:「うまい」は、いろいろな意味があります。ここでは、「上手に(skillfully)」ということ。

文9「焼酎」: いろいろな原料(materials)、例えば、米(rice)とか麦(wheat)とかソバ(buckwheat)を蒸留してつくったお酒の一つです。



文1・では、化学工学という学問は具体的にどのようなことを勉強していく学問なのでしょうか？

文2・単位操作ごとに基礎的な解析方法を学んでいきます。

文3・このとき重要になるのがここに示す5つの考え方です。

文4・これらは大変基本的なものなのですが、1) 物質収支、2) エネルギー収支、3) 平衡論、4) 速度論、5) 経済収支 の5項目です。

文5・こうした考え方でそれぞれの単位操作を最適化したのち、再び全体のプロセスに適合するよう合成します。

文6・このときに役立つのが、プロセス・システム工学であり制御工学です。

文7・このように化学工学は単位操作を基本とした学問で、大量生産を効率よく行うためのツールという説明をしてきましたが、化学工学の今後はどのようなものでしょうか？

文8・化学工学は一見すると化学工業だけを対象にしているようにみえます。

S1・So, what will we specifically study about chemical engineering?

S2・We will learn a basic mode of analysis for each unit operation.

S3・At this time, there are five important basic ideas as shown here.

S4・1) Mass balance, 2) Energy balance, 3) Equilibria, 4) Speed theory, and 5) Economic balance.

S5・After optimization of each unit operation, the entire process can be formed.

S6・At this time, process system engineering and control engineering are useful.

S7・Thus, chemical engineering is learning based on unit operation, and is the tool for efficient mass-production. So what is chemical engineering used for?

S8・At a glance, chemical engineering would appear to be aimed only at the chemical industry.

文9・しかし、地球環境全体、エネルギー関連分野、  
バイオテクノロジー分野、廃棄物処理分野  
などあらゆる分野に応用できる学問です。

文10・実は人間の体内器官の働きも化学工学に  
よってある程度の解析が可能です。

文11・例えば、呼吸は肺内部でのガス交換とみ  
なすことができます。

文12・つまり化学プラントを設計・運用するだ  
けでなく、地球規模で未来型社会を考え、  
構築するためにも有用な工学であるとい  
えます。

S9・However, it is applicable to all fields, such  
as the environment, energy-related fields,  
biotechnology, and waste treatment.

S10・In addition, a certain amount of analysis  
by chemical engineering can be applied to  
the work of human organs in the living body.

S11・For example, it can be considered that  
breathing is gas exchange in lungs.

S12・Therefore, chemical engineering is not  
only designing and operating chemical  
plants, but is a useful form of engineering  
for the designing and building of future  
societies on the scale of the Earth

## キーワード(Key words)

- 物質収支
- エネルギー収支
- 平衡論
- 速度論
- 経済収支
- プロセス
- システム工学
- 制御工学

## 関連用語(Related terminologies)

- 移動現象論(いどうげんしょうろん): transport phenomena
- 熱力学(ねつりきがく): thermodynamics
- 流体力学(りゅうたいりきがく): hydrodynamics
- 反応速度論(はんのうそくどろん): chemical kinetics
- 粉体工学(ふんたいこうがく):
- 化学反応(かがくはんのう): chemical reaction

## 日本語解説

文2 「～ごとに」: 「それぞれの (each other) ～について」ということです。ここでは、「単位操作」それぞれについ  
てという意味です。

文4 「収支」: 「収入 (income)」と「支出 (expense)」の二つのことばでできています。

文5 「最適化」: 「適する (be suitable)」ということばは、ある対象 (subject) や目的 (purpose) に合う  
(to suit something) ということです。「最」は接頭辞 (prefix) で、一番という意味です。

文6 「<sup>ふたた</sup>再び」：もう<sup>いちど</sup>一度ということです。「<sup>さい</sup>再」とも読みますから、「<sup>さいど</sup>再度」でも<sup>おなじ</sup>同じ意味です。

文8 「<sup>いつけん</sup>一見すると」：「<sup>ちよつ</sup>ちょっと<sup>み</sup>見ると」という<sup>い</sup>意味です。「<sup>いつけん</sup>一見」は、「<sup>いちど</sup>一度<sup>みる</sup>みる<sup>こと</sup>こと」という意味もあります。

例：<sup>れい</sup>百<sup>ひゃく</sup>聞<sup>ぶん</sup>は一<sup>いつけん</sup>見<sup>し</sup>に<sup>ごと</sup>如<sup>ごと</sup>かず Seeing is believing.

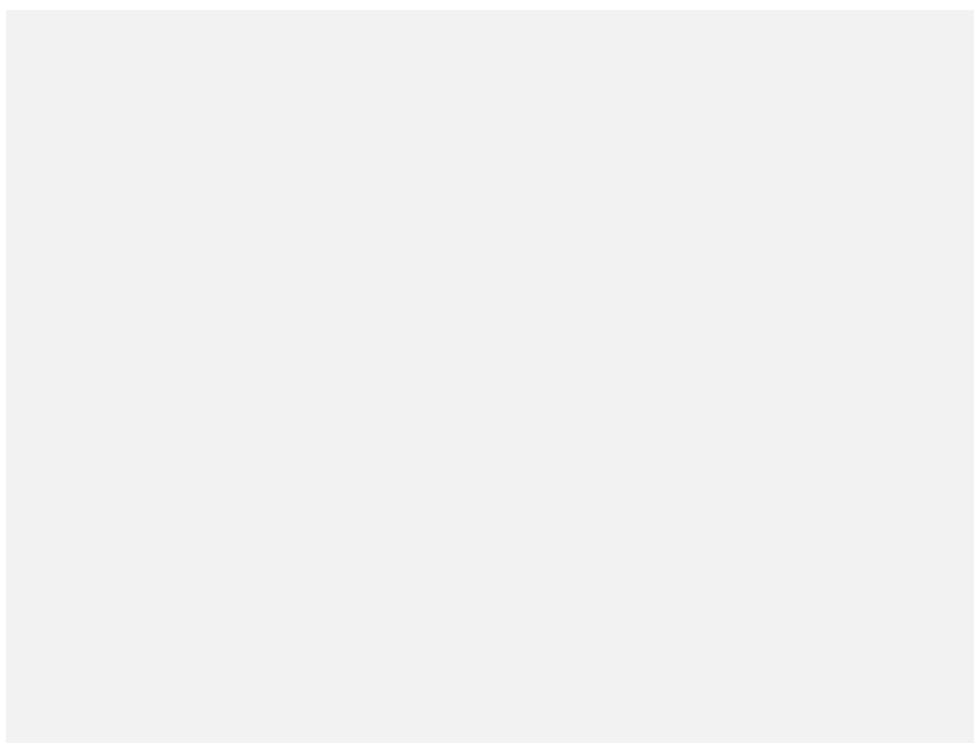
文9 「<sup>あら</sup>ゆる」：すべての

文10 「<sup>はたら</sup>働<sup>き</sup>」：「<sup>はたら</sup>働<sup>く</sup>」という<sup>どうし</sup>動詞(verb)から、「<sup>はたら</sup>働<sup>き</sup>」という<sup>めいし</sup>名詞(noun)になります。

例：「<sup>うご</sup>動<sup>く</sup> (to move)」と「<sup>うご</sup>動<sup>き</sup> (movement)」

「<sup>よ</sup>読<sup>む</sup> (to read)」と「<sup>よ</sup>読<sup>み</sup> (reading)」

文12 「<sup>みらいがたしやかい</sup>未来型社会」：「<sup>みらい</sup>未来」は、「<sup>げんざい</sup>現在(present)」のあとに<sup>く</sup>来<sup>とき</sup>る時(time)。<sup>か</sup>過<sup>こ</sup>去(past)-<sup>げんざい</sup>現<sup>みらい</sup>在-未<sup>みらい</sup>来です。「<sup>みらいがた</sup>未来型」というのは、「<sup>みらい</sup>未来<sup>タイプ</sup> (type)」ということです。



文1・では、化学工学の考え方の中で最も基本となる物質収支という考え方を説明したいと思います。

文2・物質収支とは、ある化学反応のプロセスにおいて、そのプロセスに投入した物質の量と系から得られた物質の量との収支を指します。

文3・少し飛躍して言えば家計簿のようなものです。一家の入金と支出、残金は日々かわりますが、一月前と今月の収支は「一月前の残金 + 今月の総収入 = 今月の総支出 + 今月の残金」となります。

文4・このように、ある系やプロセスにおいて、物質、エネルギーの収支を確認することは、その系やプロセスが正常かどうかを確かめるうえでとても重要なことです。

文5・さらに言えば、プロセスにおける物質エネルギーの収支がとれることこそ機械エンジニア、電気エンジニアと異なりケ

S1・Now, I want to explain the idea of mass balance, which is the most basic idea in chemical engineering.

S2・Mass balance indicates inputs and outputs in terms of the mass of material, and the fraction that turns it on to the process in a certain chemical reaction.

S3・This can be compared to a household account book. Income, expenditures and the balance change every day, so the income and expenditure of one month before and this month can be expressed by “Balance one month ago + Total revenue this month = Total expense this month + Balance this month”.

S4・Thus, it is very important for confirming whether the system and the process are normal, that is, to confirm the revenue and the expenditures on goods and energy in a certain system and process.

ミカルエンジニアをケミカル エンジニアたらしめている特技, identity です。  
文6・物質やエネルギーの収支を考慮する場面はミクロからマクロまで、実にさまざまです。それゆえ、少生産 プロセスから地球規模の環境問題まで、ケミカルエンジニアの活躍分野がひろがっているのです。

S5・Furthermore, chemical engineers differ from mechanical engineers or electrical engineers because they can make the materials balance. This is a chemical engineer's special skill.

S6・The balance of materials and energy is applicable to various processes from micro- to macro-scale. So, the activities of a chemical engineer range from the small process to environmental problems on a global scale.

### キーワード(Key words)

・物質収支

### 日本語解説

文2「投入する」:「投」は、「投げる(to throw)」と読みます。ここでは、投げて入れる(throw into)ことです。

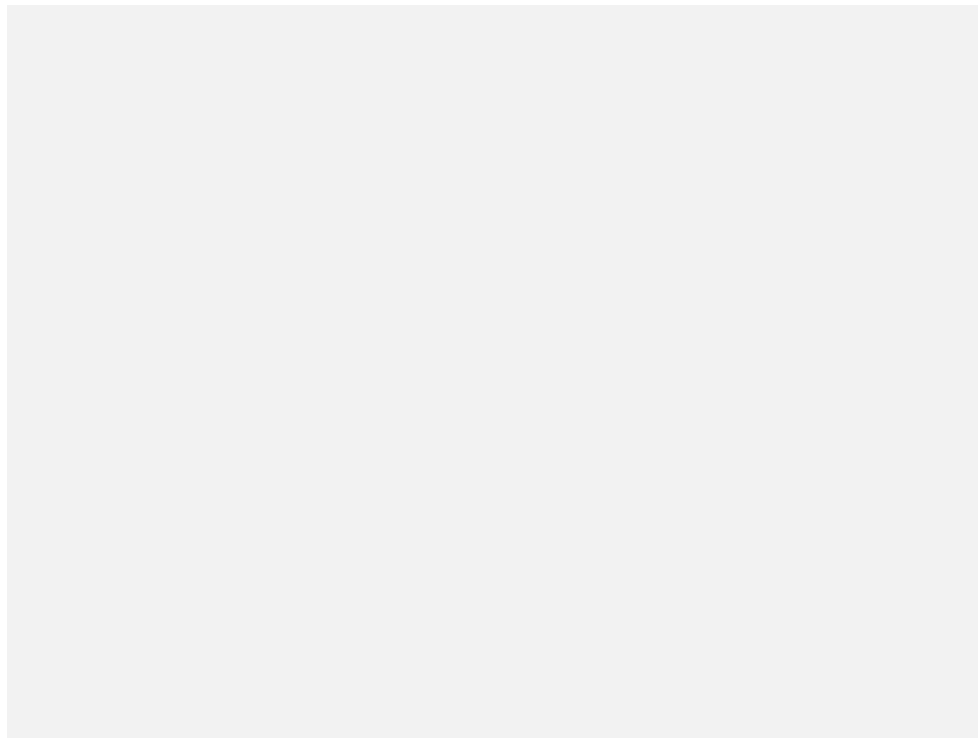
文3「飛躍して言えば」:順番通り(in order)ではないことです。ここでは、話が飛ぶ(jump)ことです。

文3「一家」:一つの家のことです。

文4「正常」:「正」は、「正しい(correct)」ということです。「常」は、いつもと同じということです。反対のことは、「異常」です。「異」は、「異なる(different)」とも読みます。

文5「～たらしめる」:強調する(emphasize)言い方。ここでは、ケミカルエンジニアをケミカルエンジニアとしているということです。

文6「それゆえ」:書きことば(written form)で使います。「だから」という意味です。



文1・では、物質収支とは具体的にどのようなことを言い、そこから何がわかるのでしょうか？ここで具体的な例題を用いて説明したいと思います。

文2・「ヒトが生存するためには、一日当たり2リットルの水を摂取し、代謝によって生成する水分0.5リットルを加えて2.5リットルを排出する。呼吸や汗を除き、1.5リットルを尿として排出する。」

文3・この収支を表したのがこちらの図です。ヒトの摂取する水分量と排出する水分量がつりあっていることがわかります。

文4・さて、この物質収支がわかることで、どのようなことがわかるのでしょうか？たとえば、このようなことが計算で求めることができます。

文5・一つ目に、寿命を80歳として生涯に体外から摂取する水分量はどれだけになるか？二つ目に、尿中の塩分の平均濃度を100mmol/リットルとする200万人都市でヒトからの一日の排出塩分量はいくら

S1・So, how can you describe and what do you understand about mass balance? I want to explain this concept further by using a real-life exercise here.

S2・“A human requires 2 liters water a day to live. 2.5 liters are excreted, including 0.5 liters of moisture generated by metabolism. 1.5 liters are excreted as urine, and the remaining 1.0 L are excreted through breathing and sweat.”

S3・This figure here shows the material balance. We can understand that the volume of water that a human takes in and the excreted volume of water are balanced.

S4・So, what can we learn from understanding this mass balance? We can use the calculations to solve problems.

S5・For example, if our average lifespan is 80 years, what is the volume of water that we take in from outside of the body

か?といったものを求めることができます。  
では、実際に求めてみましょう。

throughout our life? Or, how much salt is excreted in one day by the residents of a two-million person city, where the salinity concentration of urine is assumed to be 100 mmol/liter? We can calculate answers to questions such as these. So, let's actually work through them.

## キーワード(Key words)

・平均濃度

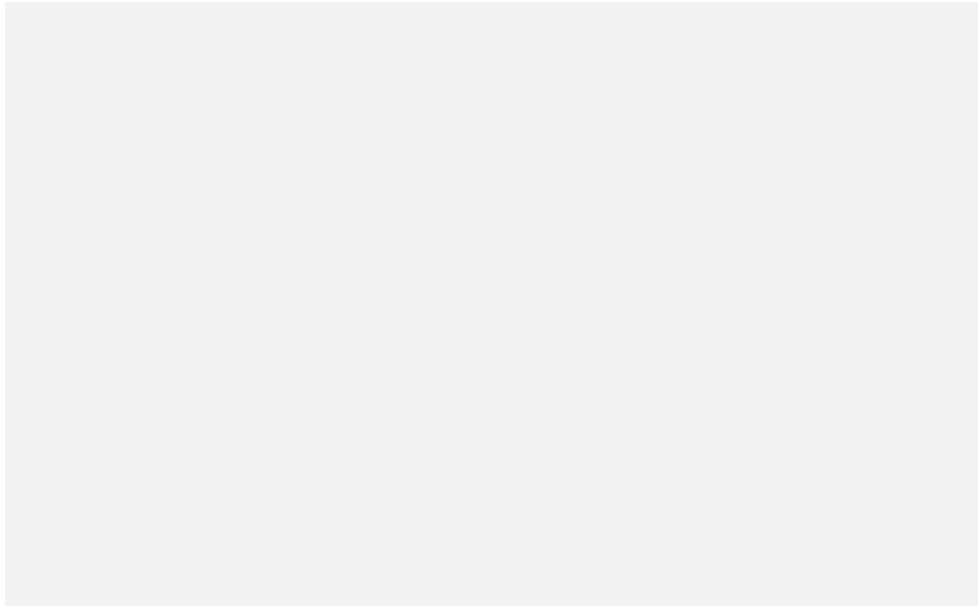
### にほんごかいせつ 日本語解説

文1 「例題」：練習(exercise)のために、例として出す問題。「練習問題」と同じです。

文2 「～を除いて」：「除く」は、" to exclude" です。

文3 「つりあっている」：「つりあう」は、「つりあい(balance)がとれている(be well-balanced)」ことを表します。





文1・寿命を80歳として生涯に体外から摂取する水分量はどれだけになるか？という問題では、一日2ℓ摂取することがわかっているの、これに寿命の80年をかけることで求めることができます。

文2・すると、 $5.84 \times 10^4$ リットルという答えが出てきます。つまり、人間は生涯で約60000リットルの水分を体外から摂取するという答えが導けます。

文3・人間がいかに膨大な量の水分を使用しているのかがわかりますね。

S1・A question “If our lifespan is 80 years, what is the volume of water that we take in from outside of the body throughout our life?” Because it is understood that we take in 2 liters of water a day, it is possible to calculate this by multiplying 80 years of life and 2 liters together.

S2・The answer is  $5.84 \times 10^4$  liters. In a word, a human takes in moisture of about 60000 liters from outside of the body throughout life.

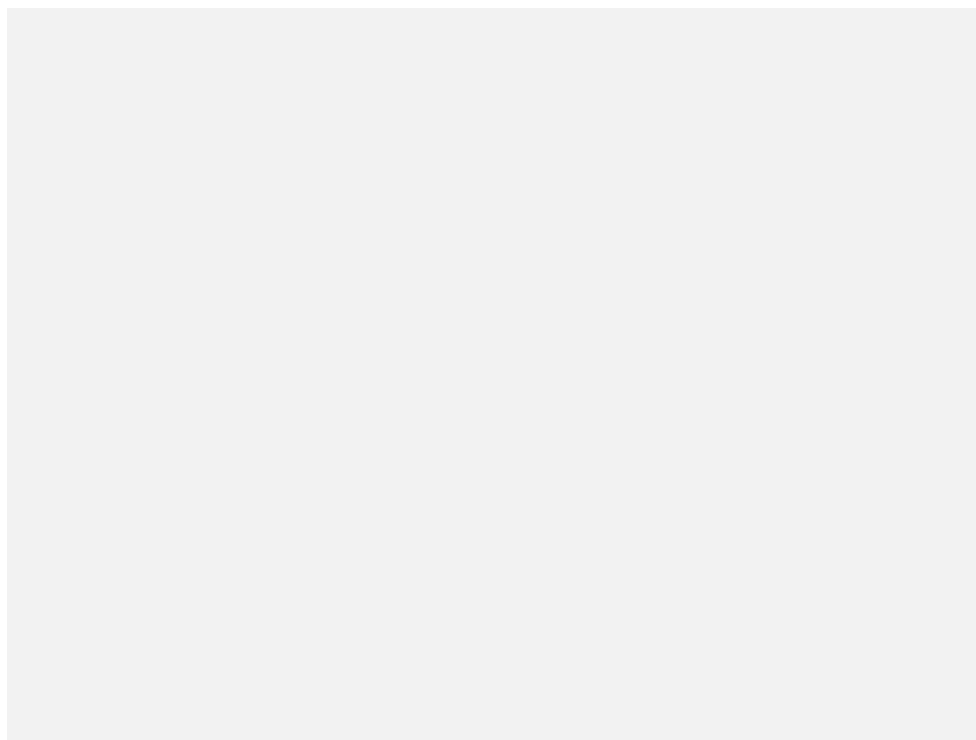
S3・Do you understand how humans uses such a huge quantity of moisture?

## 日本語解説

文1「かける」:「かける」というのは、“multiply”です。基本的な計算は、かけ算(multiplication)、足し算(addition)、引き算(subtraction)、割り算(division)です。

文3「膨大な」:「膨らむ」と読みますが、これは中からの力で大きくなることです。

例:風船(balloon)が膨らむ



- 文 1・次に、尿中の塩分の平均濃度を 100mmol/  
リットルとすると 200万人都市でヒトか  
らの一日の排出塩分量はいくらか？ と  
いう問題について考えたいと思います。
- 文 2・この問題では、まず NaCl の分子量が必要  
となります。これは教科書等の文献に示  
されてある通り、58.5 です。そしてまず、  
一日当たり排出する水分を求めます。
- 文 3・一人当たり 1.5 リットル排出するので、  
都市全体からは、200万×1.5 リットルで  
300万リットルという値が出せます。
- 文 4・そしてこれに平均濃度の 100mmol をかけ  
ると、3000モルとなります。これは  
一日の排出塩分量をモルで表したもの  
であるので、最後にこれに NaCl 分子量の  
58.5 をかけます。すると  $1.76 \times 10^7$  g と  
いう答えが求められます。
- 文 5・名古屋市の人口は約200万人ですので、  
毎日約20 トンもの塩分が名古屋市から  
排出されているということになります。  
昨今、環境問題が注目されていますが、

- S1・Next, let us consider the following  
problem: “How much salt do humans  
excrete during a day in a two-million  
person city where the salinity  
concentration in urine is assumed to be  
100 mmol/L?”
- S2・In this problem, first of all, the molar  
mass of NaCl is needed. This is 58.5 g/mol  
as shown in the textbook. Then, we want  
to know the amount of water excreted each  
day.
- S3・Because 1.5 liters are excreted by each  
person, by multiplying two million by 1.5  
liters, we see that three million liters are  
excreted from the entire city.
- S4・And, if the average concentration is 100  
mmol/L, this equates to 3000 moles. This  
gives the amount of excreted salt during a  
day in moles. Finally, the molar mass of  
58.5 g/mol is multiplied by this figure. So,  
the answer is  $1.76 \times 10^7$ g.

このように人間からの排出物も膨大な量  
であることも知らなければなりません。

文6・このように、個人というミクロな問題に  
おいても、都市というマクロな問題でも、  
物質収支という考え方は使われているの  
です。

S5・Since Nagoya city has a population of  
about 2 million, it can be said that 20 t salt  
is discharged from Nagoya city every day.  
Although environmental problems attract  
attention these days, we also have to  
consider excretions from man, which are  
huge quantities in this case.

S6・Thus, the concept of material balance can  
be used for micro problems, such as in the  
individual, as well as in macroscopic  
problems, such as the city.

## 日本語解説

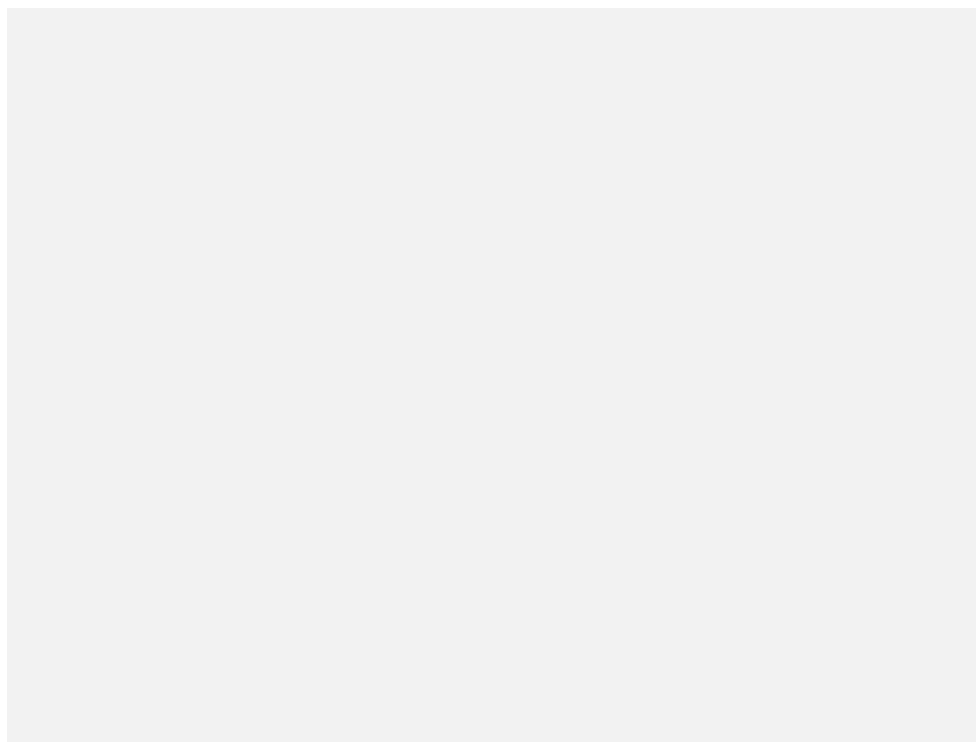
文4「すると」：あることの後に続く(follow)ことを表します。ここでは、かけ算をします。すると、  
その後で答えが出てきます。

例：薬(medicine)を飲みました。すると、すぐ元気になりました。

文5「20トンもの塩分」：数字(number)に「も」をつけると、「数が多い」ということを表します。

例：ビールを5本も飲みました。

文5「昨今」：「このごろ(recently)」ということです。



文1・では、<sup>かがくこうがく</sup>化学工学において<sup>ぶつしつしゅうし</sup>物質収支はどの  
ように使われているのでしょうか？<sup>たんい</sup>単位  
<sup>そうさ</sup>操作の一つである<sup>じょうりゅう</sup>蒸留の例を見てみまし  
ょう。

文2・この右の図は、<sup>みぎ</sup>単蒸留装置を表した図で  
す。<sup>に</sup>二成分からなる<sup>げんりょう</sup>原料として、そのうち  
の<sup>ていふつてんせいぶん</sup>低沸点成分に<sup>ちゅうもく</sup>注目します。

文3・<sup>げんえきぜんたい</sup>原液全体の<sup>えきりょう</sup>液量を  $L_0$ 、その<sup>ぶんりつ</sup>モル分率を  $x_0$ 、  
<sup>じょうりゅうしゅうりょう</sup>蒸留終了時の<sup>ざんえき</sup>残液を  $L_1$ 、その<sup>ぶんりつ</sup>モル分率を  
 $x_1$ 、<sup>りゅうしゅうえきりょう</sup>流出液量を  $D$ 、その<sup>へいきん</sup>平均モル分率を  $x_D$   
とします。これで<sup>ぶつしつしゅうし</sup>物質収支をとります。す  
ると、<sup>ぜんえき</sup>全液の<sup>かんけい</sup>関係をあらわす  $L_0 - L_1 = D$  と、  
<sup>ちやくもくせいぶん</sup>着目成分の<sup>かんけい</sup>関係をあらわす  $L_0 x_0 - L_1 x_1 =$   
 $D x_D$  という二つの式を作ることができます。

文4・ここから、たとえば<sup>かんざんりゅうえきりょう</sup>缶残留液量とその<sup>せいせい</sup>組成  
を調べることで、<sup>りゅうしゅうえき</sup>流出液の<sup>へいきん</sup>平均組成を<sup>もと</sup>求めることができます。

文5・<sup>ぶつしつしゅうし</sup>物質収支は<sup>じょうりゅう</sup>蒸留のほかにも、<sup>はんのうこうがく</sup>反応工学、  
<sup>りゅうどう</sup>流動、<sup>ちゅうしゅつ</sup>抽出といった<sup>かがくこうがく</sup>化学工学のあらゆる

・Then, how is the material balance used in chemical engineering? Let's see the distillation that is one of a unit operations example.

・This right figure is shown the simple distillation device. There is a raw material that consists of two elements from among this for example. And we attention to the low boiling point element.

・We make a material balance by use  $L_0$  as for the liquid measure of the entire stock solution, and  $x_0$  as for the molar fraction of it. And  $L_1$  as for the residual liquid when distillation ends, and  $x_1$  as for the molar fraction of it. And  $D$  as for the amount of the outflow fluid, and  $x_D$  as for the molar fraction of it.

Then, the relation of all liquids can show by  $L_0 - L_1 = D$  and the relation of the attention

分野<sup>ぶんや</sup>で使<sup>つか</sup>われています。

文6・実<sup>じつ</sup>際<sup>さい</sup>の化学工場<sup>かがくこうじょう</sup>などの現<sup>げん</sup>場<sup>ば</sup>におい<sup>て</sup>も、  
物質収支<sup>ぶつしつしゅうし</sup>から装<sup>そう</sup>置<sup>ち</sup>の稼働<sup>かどう</sup>状<sup>じょう</sup>態<sup>たい</sup>や調<sup>ちょう</sup>子<sup>し</sup>を知<sup>し</sup>  
ることが出来<sup>で</sup>ます。

文7・このように、化学工学<sup>かがくこうがく</sup>におい<sup>て</sup>物質収支<sup>ぶつしつしゅうし</sup>は  
基本<sup>きほん</sup>的<sup>てき</sup>かつ必<sup>ひつ</sup>要<sup>よう</sup>不<sup>ふ</sup>可<sup>か</sup>欠<sup>けつ</sup>な考<sup>かん</sup>え<sup>が</sup>方<sup>かた</sup>でありま  
す。

element can show by  $L_0x_0 - L_1x_1 = DxD$ .

- The average composition of the outflow fluid can be calculate by measure the amount of residual liquid and its composition for example.
- The mass balance is used in all fields of chemical engineering like chemical reaction engineering, flow phenomenon, extraction besides the distillation.
- We can know the state of operation and the condition of the device from the mass balance on the site such as actual chemical works.
- Thus, the mass balance is a basic, necessary, indispensable idea in chemical engineering.

## キーワード(Key words)

・蒸留<sup>じょうりゅう</sup> ・単蒸留<sup>たんじょうりゅう</sup> ・二成分<sup>にせいぶん</sup> ・抽出<sup>ちゅうしゅつ</sup> ・流動<sup>りゅうどう</sup>

## 日本語解説

文3「原液<sup>げんえき</sup>」：薄<sup>うす</sup>めていない液体<sup>えきたい</sup>のことです。「薄<sup>うす</sup>める」というのは、濃度<sup>のうど</sup>(density)を薄<sup>うす</sup>くすることです。「薄<sup>うす</sup>い(weak, dilute)」というの<sup>は</sup>、「濃<sup>こ</sup>い」ということばの反<sup>はん</sup>対<sup>たい</sup>の意<sup>い</sup>味<sup>み</sup>です。

文5「と<sup>お</sup>い<sup>い</sup>た」：「と<sup>お</sup>い<sup>い</sup>うよう<sup>な</sup>」と同<sup>おな</sup>じ言<sup>い</sup>い方<sup>かた</sup>です。

文5「抽<sup>ちゅう</sup>出<sup>しゅつ</sup>」：引<sup>ひ</sup>き出<sup>だ</sup>すこと<sup>です</sup>。「引<sup>ひ</sup>き出<sup>だ</sup>す」というのは、隠<sup>かく</sup>れている(hidden)もの<sup>を</sup>外<sup>そと</sup>に出<sup>だ</sup>すこと<sup>です</sup>。

文6「稼働<sup>かどう</sup>状<sup>じょう</sup>態<sup>たい</sup>」：「稼<sup>か</sup>働<sup>どう</sup>」の「稼<sup>か</sup>」は、「稼<sup>かせ</sup>ぐ(to earn)」という読<sup>よ</sup>み方<sup>かた</sup>もあり<sup>ま</sup>す。こ<sup>こ</sup>こ<sup>こ</sup>では、機<sup>き</sup>械<sup>かい</sup>(machine)が動<sup>うご</sup>いて<sup>い</sup>る<sup>る</sup>こ<sup>こ</sup>を<sup>を</sup>表<sup>あらわ</sup>し<sup>し</sup>ま<sup>ま</sup>す。

文6「調<sup>ちょう</sup>子<sup>し</sup>」：活<sup>かつ</sup>動<sup>どう</sup>する(to work)もの<sup>の</sup>状<sup>じょう</sup>態<sup>たい</sup>のこと<sup>です</sup>。

## 参考文献(Reference)

化学工学会監修、多田 豊著(2008)『化学工学：解説と演習 改訂第3版』朝倉書店

