

## 粉砕

化成肥料の生産、特に原料の混合と造粒工程では、原料の粒度（粒子の粒径）に対して一定の要求がある。粒状または塊状の原料を使用する場合は、まず粉砕して粉状にする必要がある。また、造粒や乾燥した後、篩分けした不合格品の粒や塊を粉砕して造粒機に戻し、造粒を行うことは原料の有効利用と生産コストの低減には有効である。

肥料原料の特徴は、概して大きな塊がなく、硬度が低く（軟らかい）、一定の粘着性がある。また、粉砕効率とその後混合、造粒工程の粉じん対策のため、粉砕後の粒子が 30～100 メッシュ（粒径 0.15～0.5mm）篩を通過すればよい。従って、使用する粉砕設備や操作が通常の鉱産物粉砕と若干異なる。

### 一、粉砕原理

粉砕とは、物体の塊を細かくして、小片にすることである。外部から物体内部の結合力を超えた力を加え、その結合力を打ち勝ち、物体を小片にする機械は粉砕機または破砕機と呼ばれる。

粉砕は、主に①物体の表面積を増やす。②物体を目的の大きさに揃える。③物体のパルプ化のような目的で行われる。

粉砕機械の種類が多くあるが、その粉砕メカニズムは外部からの力作用方式により下記の 4 つに大別される。

#### 1. 圧迫粉砕

圧迫粉砕のメカニズムは、粉砕機械の二つの作業面が相対に接近することにより物体に圧力を加え、物体を押しつぶすことである。物体が外部からの圧力を受け、ひき割れが発生し、崩壊していく。圧迫粉砕は物体にゆっくり均一に圧力を加えるので、物体粉砕の均一性が高い。また、粉砕機械作業面の間にある距離が必要なので、微粉砕することができない。従って、圧迫粉砕は主に大きな硬質物体を小さな塊にするいわゆる粗砕に使う。代表的な粉砕機械はジョークラッシャー、コーンクラッシャーなどである。

#### 2. 衝撃粉砕

衝撃粉砕のメカニズムは、高速運動するハンマー、ボール等が瞬間的に物体に衝撃を与え、物体がその衝撃力により粉砕される。衝撃粉砕は中小程度サイズ（100mm 以下）の物体の粉砕に利用される。

衝撃粉砕は粉砕に供する物体の運動の有無により 2 つに分けられる。一つは高速運動の衝撃体（ハンマー等）がほぼ静止な物体に衝撃してきて、物体を粉砕させる。ハンマークラッシャー、インパクトクラッシャー等がこのメカニズムを利用する粉砕機械である。もう一つは物体を高速運動させ、固定している作業面に衝突させるまたは物体同士が高速衝突させることにより、物体を粉砕させる。ジェットミルなどがその代表である。

圧迫粉砕との区別は、圧迫粉砕の作業面と粉砕に供する物体との相対移動速度が 0.4m/s 未満であるのに対して、衝突粉砕の相対移動速度が 0.7~200m/s に達することである。

### 3. せん断粉砕

せん断粉砕のメカニズムは、物体がカッターのような楔状物により小片に切断される。脆い物体の粉砕に適する。カッターミルがその代表である。

### 4. 摩砕粉砕

摩砕粉砕のメカニズムは、物体が二つ以上の相対に移動する作業面に挟まれ、作業面の移動により物体と作業面に摩擦が発生し、物体の表面から順次に小片が削り取られる。摩砕粉砕は研磨体が物体の表面を絶えずに削り取ることにより物体を粉砕するため、微粉砕に適する。振動ミル、ローラーミルなどがその代表である。

図 1 は上記 4 つの粉砕メカニズムの略図である。なお、物体を効率に粉砕するため、粉砕メカニズムを 2 つ以上に組合せる粉砕機械が多数ある。

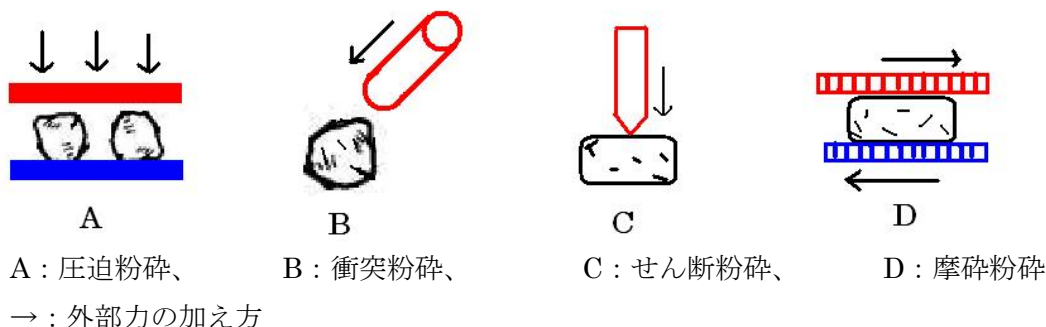


図 1. 粉砕メカニズム見取り図

物体は外力により多数の小片に粉砕されていく過程は 2 つに大別される。一つは物体の表面から小片が剥がれて、次第に多数の小片になったいわゆる表面粉砕である。もう一つは物体全体が真ん中から数個大きな塊に割れ、割れた塊もさらに割れて次第に粉々になるいわゆる体積粉砕である。その粉砕の過程は図 2 に示す。

圧迫粉砕、衝撃粉砕、せん断粉砕は単一粒状全体を破壊する体積粉砕であり、磨砕粉砕は摩擦的に粒子に圧縮力、剪断力を加えて粒子表面より徐々に微粉を生産するいわゆる表面粉砕となるので、微粉、超微粉の取得には有効であると考えられます。

## 二. 粉砕設備

粉砕は水などの液体を媒質に使うか否かにより乾式粉砕と湿式粉砕に大別される。肥料の特性では、湿式粉砕が適しないため、本章は乾式粉砕だけを取り上げる。湿式粉砕については、他の専門書をご参考ください。通常、鉱産物などの物体の粉砕によく使われる粉砕設備は表 1 に纏めた

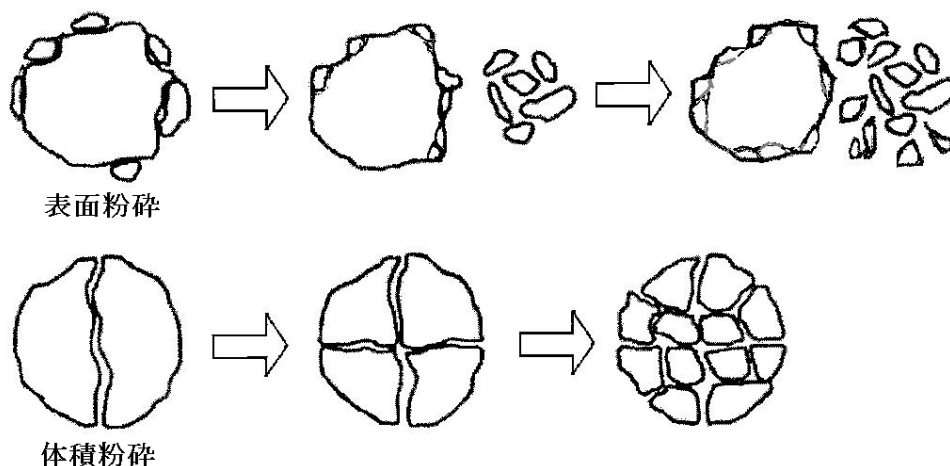


図 2. 粉碎過程図

表 1. 常用粉碎設備の種類とその特性

粉碎機種類	粉碎メカニズム	適用粉碎	粉碎粒度 (mm)	粒度分布	粉碎部の摩耗程度
ジュークラッシャー	A	粗砕	15~500	中	小
ジャイレトリクラッシャー	A	粗砕	50~200	中	小
コーンクラッシャー	A	粗砕	10~100	中	中
平滑ロールクラッシャー	A	粗砕	1~10	狭い	小
歯付ロールクラッシャー	A	粗砕	10~20	狭い	中
インパクトクラッシャー	B	粗砕	<30	中	中
ハンマクラッシャー	B	粗砕	<20	中	小
粗砕カッター	C	粗砕	1~10	狭い	大
チェーンクラッシャー	B	粗砕	1~5	中	小
ロットミル	B	微粉碎	<1	狭い	小
ボールミル	B	微粉碎	<1	中	小
振動ロットミル	B	微粉碎	<1	狭い	中
振動ボールミル	B	微粉碎	<1	中	大
ケージミル	B	微粉碎	<1	広い	大
ローラーミル	B, D	微粉碎	<1	中	中
インパクトミル	B	微粉碎	0.005~1	中	大
円盤ミル	A, D	微粉碎	<0.01	狭い	大
攪拌摩砕ミル	D	微粉碎	<0.1	広い	大
ジェットミル	B	微粉碎	<0.01	中	小
エッジミル	A, D	微粉碎	<1	中	中

注：粉碎メカニズム A：圧迫粉碎、 B：衝突粉碎、 C：せん断粉碎、 D：摩砕粉碎

### 三. 肥料の粉碎によく使われる粉碎機

鉱産物に比べ、肥料原料の特徴は、概して硬度が低く（軟らかい）、一定の粘着性がある。その特徴により、よく使われる粉碎設備はチェーンクラッシャー、二軸ローラークラッシャー、ケージミルなどである。以下はこれらの粉碎機の構造と粉碎メカニズムを述べる。

#### 1. チェーンクラッシャー

チェーンクラッシャーは高速回転している鉄鋼製のチェーンが粉碎対象の物体を衝突し、粉碎させる機械である。回転子の設置方向により、縦型と横型の2種類がある。

① 縦型チェーンクラッシャー： モーター、破碎室、回転子とチェーン、投入口、排出口等から構成される。破碎室に回転子が縦に設置されて、回転子に2~5段のチェーン掛けを有し、チェーン掛け毎に4~8本のチェーンを取付ける。モーターが回転子を回転させることにより、チェーンが回転子を軸に高速回転する。投入口から投入された物体は高速回転するチェーンにより叩き割られ、最終的に0.5mm以下の破片に粉碎される。

縦型チェーンクラッシャーの特徴は、構造が非常に簡単で、消費電力が少なく、運転とメンテナンスを行いやすい。破碎室が密閉される状態で、粉碎時の粉じんや騒音が抑えられ、安全性も兼ね備えている。また、粉碎物体の物性と必要な粉碎度により、チェーンの数を増減できる。欠点は、粉碎後の粒子が不ぞろいで、細かく粉碎することができない。また、水分の多い物体を粉碎する際に粉碎した破片が破碎室の壁に付着したり、チェーンに粘着する現象が起りやすく、粉碎効率に影響する。

縦型チェーンクラッシャーの構造は図3に示す。

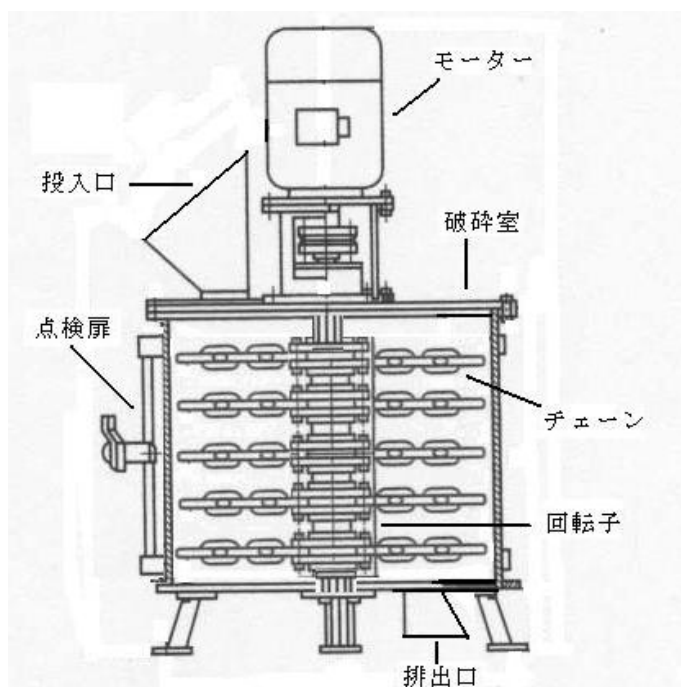


図3. 縦型チェーンクラッシャーの構造概略図

② **横型チェーンクラッシャー**：横型チェーンクラッシャーの回転子が破砕室に横に設置され、同じく 2～5 段のチェーン掛けを有し、チェーン掛け毎に 4～8 本のチェーンをとりつける。モーターが回転子を高速に回転させる。投入口から投入された物体は高速回転するチェーンにより叩き割られ、最終的に 0.5mm 以下の破片に粉砕される。また、2つの回転子を設置する横型チェーンクラッシャーもあり、各自に違う回転数で回転し、衝突打撃のほか、物体を研磨・削りも行うことができる。横型チェーンクラッシャーの構造は図 4 に示す。

縦型チェーンクラッシャーに比べ、横型チェーンクラッシャーの特徴は、物体を粉砕する際に破砕室やチェーンへの付着が少なく、生産効率が高く、細かく粉砕することができる。水分のやや多い物体の粉砕に適する。欠点は構造がやや複雑で、消費電力も若干多い。

チェーンクラッシャーは過りん酸石灰、重過りん酸石灰、りん安等のりん酸系肥料の粉砕によく使われる。

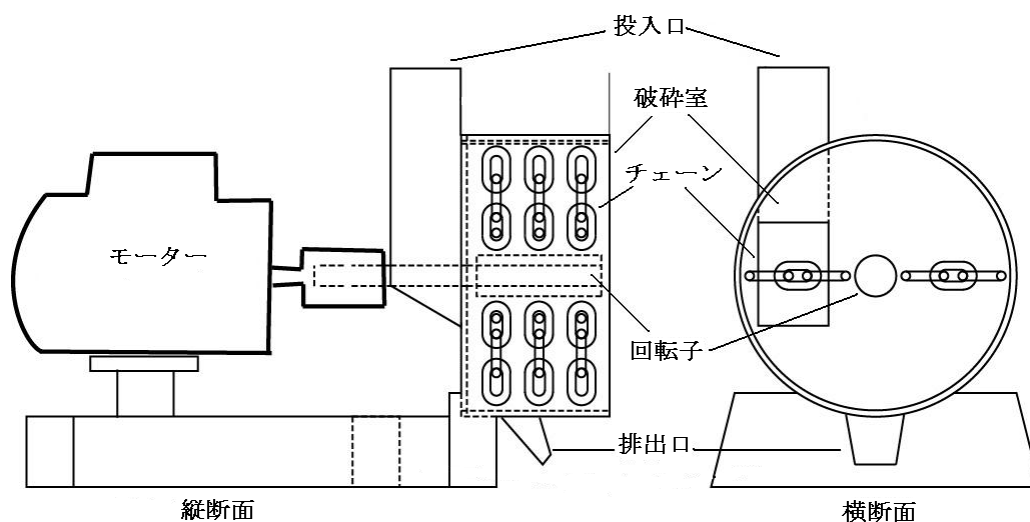


図 4. 横型チェーンクラッシャーの構造概略図

## 2. 二軸ローラークラッシャー

二軸ローラークラッシャーは、2本の回転ローラーが互いに相対に回転して、発生した圧力とせん断力、研磨力により物体を破砕する。

二軸ローラークラッシャーは破砕室、2本のローラー、モーターとブリー、ローラー位置移動装置から構成される。1本のローラーは固定の軸受に装着して、前後に移動することができないが、もう1本のローラーは可動の軸受に装着して、ローラー位置移動装置の調整を通して前後に移動することができる。また、可動ローラーには押しバネを取付けている。物体が破砕室上部の投入口から投入され、2本のローラーの間に落下する。相対に回転するローラーにより破砕楔面を形成し、物体がその楔面の圧力と摩擦力により粉砕される。粉砕した粒子は2本ローラーの間を通して落下し、破砕室の下にある排出口から排出され

る。粉砕できない硬い物体が混ざっている場合はその物体が可動ローラーの押しバネを後方へ押し、2本ローラーの隙間を広げ、粉砕されないままに下に落ちる。この安全装置により、ローラーと機械の損傷を防ぐことができる。粉砕後の粒子粒度と粉砕量はローラー位置移動装置の調整により制御する。

二軸ローラークラッシャーの特徴は、構造が簡単、体積が小さく、粉じんと騒音が少なく、粉砕粒度が調整しやすいため、造粒機の手前に設置して、肥料原料に混ざっている塊等を粉砕することによく使われる。欠点はローラーの摩耗が不均一で、交換頻度が高い。また、生産能力が大きくない。

二軸ローラークラッシャーの粉砕メカニズムは図5、構造概略は図6に示す。

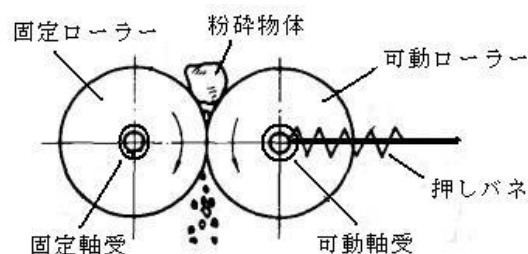


図5. 二軸ローラークラッシャーの粉砕メカニズム

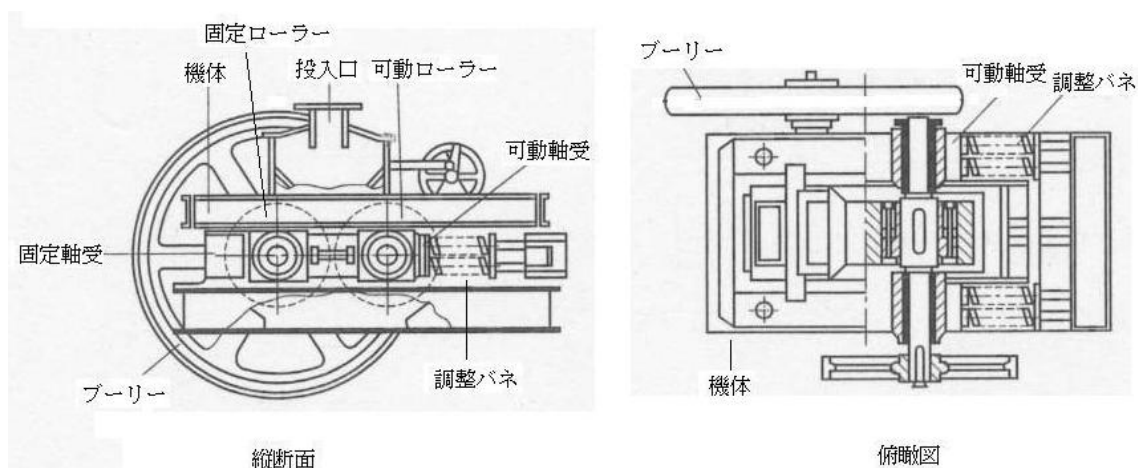


図6. 二軸ローラークラッシャーの構造概略図

### 3. ケージミル

ケージミルは衝突式粉砕機の一つで、円筒の側壁に10数本ないし数10本の金属棒を取り付けているかご形ローター（ケージ）2個を、金属棒が互いにかみ合うように同心軸上に重ねるように配置する。ケージを互いに反対に高速回転させて、それからの衝撃力、あるいは砕料同士の衝突により物体を粉砕する。

ケージミルの特徴は、構造簡単、密閉性能がよく、粉砕しながら粉砕した粒子の分散を

行う。欠点は、ケージの金属棒が変形や摩耗しやすく、メンテナンス頻度が高い。消費電力が多い。湿気が多く、硬度の低い凝集体の解砕や有機原料のような繊維状原料の解砕によく使用される。

ケージミルの粉碎メカニズムは図 7、構造概略は図 8 に示す。

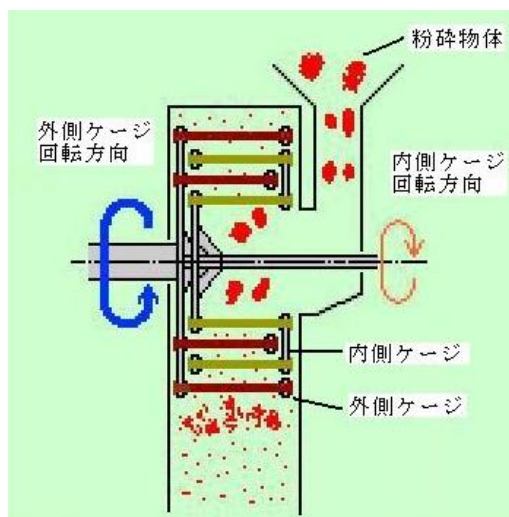


図 7. ケージミルの粉碎メカニズム

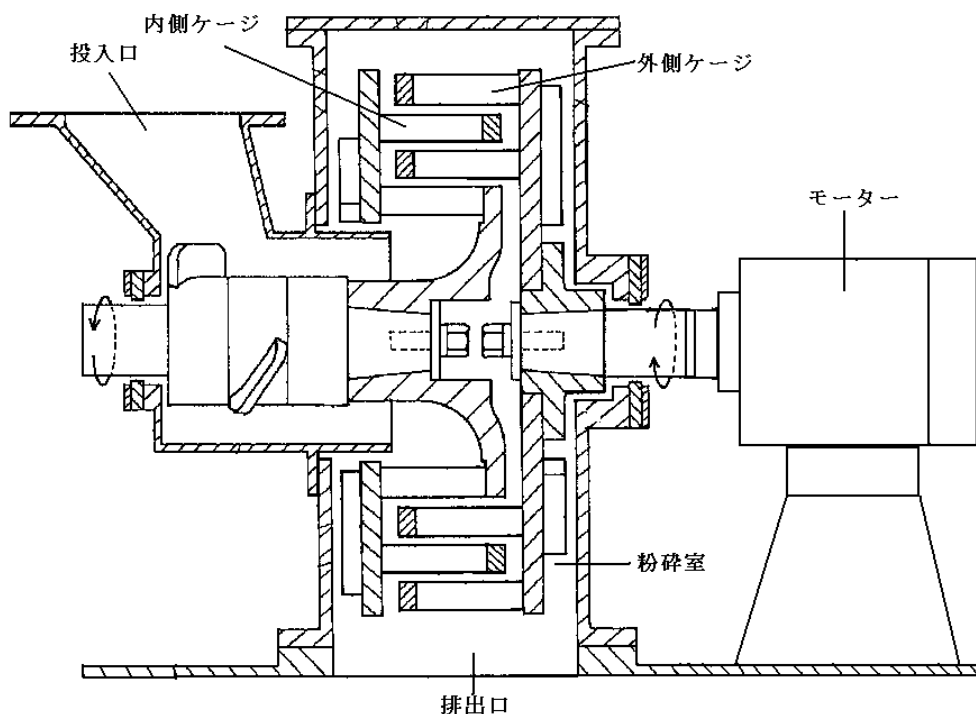


図 8. ケージミルの構造概略図

肥料加工には上記 3 種類の粉碎機械のほか、ボールミル、振動ミル、カッターミル（有

機物の粉砕)なども使われている。粉砕設備を選択する際に原料の物性、必要な粉砕度、単位時間の必要な粉砕量、設置スペースと周辺環境、気候条件等を総合的に考慮して、適切な機種を選択することが重要である。

#### 四、粉砕工程の注意事項

##### 1. 粉砕度

粉砕後の粒子が細かいほど次工程の混合工程の均一混合、造粒工程の造粒が行いやすくなる。しかし、粒子を細かく粉砕するには所要時間が長く、消費電力も多くなり、粉砕効率が悪くなる。また、細かい粒子は粉じんが立ちやすく、作業環境を汚染し、作業員の健康と安全操業にも支障がきたす。通常のパン造粒機で造粒する場合は、原料粒子を 0.15～0.5mm 程度に粉砕すれば、造粒に支障がない。

##### 2. 粉砕機への付着

含水量の多い原料、粘着性のある原料を粉砕する場合は、粉砕室の壁や粉砕作業面に付着して、粉砕効率を下げ、粉砕後の粒子が再び塊になり、機械の故障を誘発するなどがある。粉砕機への付着を減らすために、

- ① 適宜の粉砕設備を選ぶ。例えば、ケージミル、カッターミルを使用すれば、粉砕後の原料粒子が付着しにくくなる。
  - ② 原料の乾燥を行い、水分を下げてから粉砕に供する。
  - ③ 他の水分の少ない原料と一緒に投入して、合い粉砕する。
- 等の方策を取る。

##### 3. 粉じん対策

粉砕工程に最も問題となるのは、粉砕時に発生する粉じんである。粉じんは作業員の安全操業を妨害し、健康を脅かし、周辺環境を汚染する。対策は、

- ① 破砕室（粉砕室）を密閉する機種を選ぶか、周辺環境と隔離することができる防音防塵室を設置する。
  - ② 粉砕設備の粉じん漏れ場所に集塵・排気装置を設置して、発生した粉じんを早期に排除する。
  - ③ 保護具（マスク、メガネ、手袋、保護衣等）の着用。
- 等がある。