【 論 文 】

有機物の熱化学的変換プロセスにおける乾燥方式に関する評価

野 間 毅*・井 手 勝 記*・松 井 宏*

【要 旨】 バイオマス資源やごみなどの有機資源は、含水量が大きいためにガス化システム等の熱化学的変換プロセスを利用した場合にシステム効率の低下を招く。そのため、プラント内で発生する排熱により原料を乾燥することが有効な手段である。

本稿では、ガス化プラント内で発生する排熱を用いた原料の乾燥プロセスに要求される仕様についての考察を行う。また、乾燥方式として、熱風式直接加熱と蒸気間接伝導加熱式乾燥機をガス化処理プロセスと組み合わせた場合のシステム効率のケーススタディーによる評価を行い、後者のシステム効率が最大で64.7%改善されることを示した。さらに、蒸気間接伝導加熱式乾燥機を実際のガス化プラントに組み込んで10 ton/dの一般廃棄物を処理した場合について、プラント効率および乾燥機の伝熱性能についての評価を実施し、性能が見込みどおりであることを確認した。

キーワード：蒸気間接伝導加熱乾燥機、ガス化、排熱、バイオマス

1. は じ め に

バイオマス資源や汚泥を含むごみ等の資源など各種有機資源を活用する方法の一つとして熱化学的変換を利用した方法が注目されている^{1,2)}。具体的には炭化プロセス³⁾、ガス化プロセスを利用した液化合成技術⁴⁾やガス化発電技術⁵⁾および素材製造⁶⁾等、熱化学的変換プロセスを用いることにより有機資源をさまざまな分野へ適用することが可能となる。しかしながらこのような有機資源の多くが有する特徴として、含水率が高いということがあげられる。原料中の含水率が高い状態で熱化学的処理を行うと、加熱や冷却のための熱負荷が増大し、プラントの総合エネルギー効率が低下するという課題がある。したがって、原料と含有水分とを熱化学的処理を行う前に分離することが総合エネルギー効率および安定稼働の観点から効果的である。またこれによりガス中の

水蒸気量が減り、送風機や集塵装置などのガス機器の負荷を低減することができる等、さまざまなメリットが得られる。

上記の熱化学的変換プロセスにおいては、乾燥熱源としてプラント内で排熱を利用することが有効であると考えられる。従来よりこのようなシステムに適用する乾燥方式として代表的なものは、高温の排ガスを直接原料に触れさせて加熱する直接熱風加熱方式乾燥機である⁷⁾が、本稿では有機資源等の熱化学的変換の有力な手法の一つである、熱分解ガス化改質プロセスにおける原料の前処理として乾燥工程の導入を検討し、乾燥方式についてケーススタディーを行う。さらに、原料として一般廃棄物（都市ごみ）を取り上げ、熱分解ガス化改質処理方式による10 ton/日処理の実証プラント⁸⁾において、蒸気間接加熱方式乾燥機を実際にプラントに組み込み、システム効率および乾燥機の伝熱性能について評価を行った結果について報告を行う。

2. 熱分解ガス化改質プラントと乾燥機の組み合わせについて

2.1 熱分解ガス化改質プラントの原理

乾燥機の設置を検討している、有機物の熱分解ガス化改質プラントの原理を表す基本構成をFig. 1に示す。ま

原稿受付 2010. 1. 15 原稿受理 2011. 8. 9

* ㈱東芝 社会インフラシステム社

水・環境エンジニアリングセンター

連絡先：〒105-8001 東京都港区芝浦1丁目1-1

㈱東芝 社会インフラシステム社

水・環境エンジニアリングセンター 野間 毅

E-mail: tsu.nom@toshiba.co.jp

Fig. 1 Basic outline of pyrolysis and gasification process

ず、原料となる処理物を間接的に約 600℃で加熱し、原料中に含まれる主として揮発成分を熱分解して熱分解ガスとして気化させる。続いて発生した熱分解ガスを改質および洗浄して、水素、一酸化炭素、メタン、二酸化炭素、窒素などで構成される低分子ガスに変換し、これを洗浄して合成ガスとして活用する。原料中の固定炭素分は炭化物となり、灰分や金属などとともに残渣となる。残渣は炭化物と金属に選別することにより資源リサイクルを行うことが可能となる。また炭化物は燃料として活用することができるとともに、熔融炉で部分燃焼により合成ガス化することも可能である。

このような構成のプラントにおいては、高温のプロセスが多く存在するため、原料中の過大な水分量の存在は熱負荷の増大に繋がり、プラントの総合効率の低下とともに構成設備容量の増大を招く。その一方で、このようなプラントにおいては多くの排熱を発生するため、この排熱を利用できる乾燥機を熱分解プロセスの前に設置することが効果的であると考えられる。

2.2 乾燥のための加熱温度について

バイオマスやごみなどの有機資源を乾燥する際の留意点として、原料を熱分解（燃焼も含む）させないことがあげられる。乾燥機の内部で原料が熱分解すると、乾燥機排気中へ、熱分解ガスや塩化水素ガスおよびダイオキシン類などの混入が生じ、その対策のためにシステムが複雑になる。また、乾燥機出口系統へのタールの付着に起因するダストによる閉塞等の弊害を来す可能性が生じる。さらに、乾燥機内部で可燃ガスが発生するために発火の危険性が高まる等、さまざまな弊害が生じる。

Fig. 2, Fig. 3 にはそれぞれバイオマス資源とプラスチック類について、熱分析により熱分解特性の評価を行った結果を示す。Fig. 2 は筆者らが行った木質および下水汚泥の試験結果である。木質では約 280℃から熱分

Fig. 2 Thermal analysis of biomass

Fig. 3 Thermal analysis of plastics

解による重量減少が見られる。下水汚泥については、およそ 200℃まで水分蒸発による大幅な重量減少が見られ、同じく約 280℃から熱分解による重量減少が見られる。Fig. 3 は各種プラスチック類について熱分解特性を調べた既往の調査結果を示したものである⁹⁾。ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) などは 300℃前後にて分解が開始され、400℃以下で反応が完了する。塩化ビニル (PVC) については、200℃付近から急激な減量が見られるが、これは塩化ビニルの脱塩化水素反応を示すものであり、さらに 400℃近傍において熱分解が行われる。以上のことから、乾燥機において、原料が熱分解することにより乾燥機排気中へ熱分解ガス、塩化水素ガス、ダイオキシン類などの混入が生じる可能性を低減するためには、加熱温度を 200℃以下とすることが求められる。

2.3 乾燥機排気の脱臭処理について

乾燥方式としては種々の方法があるが、加熱部と原料の接触方式としては熱風加熱方式と伝導加熱方式に大別される¹⁰⁾。連続稼動を想定したプラントの場合に比較的実績が多いのは対流伝熱型の直接熱風加熱式の乾燥方式で、これは 300℃以上の熱風と原料を直接に接触させて

乾燥するものである。しかしながら直接熱風加熱方式では、熱分解が生じる温度よりも高温の熱風を使用するため、原料の攪拌状態や投入量の変動によっては一部の原料が温度上昇により熱分解し、前述したさまざまな弊害をもたらす可能性が生じる。またこの方式は乾燥機からの排気流量が多いという問題がある。臭気のある原料と直接触れたガスは脱臭処理の必要があるが、熱風温度が高温になるのを避けるためにその温度を低めに設定すると必要熱風量が大きくなり、結果として脱臭に必要なガスが増大する。そのため、脱臭（燃焼脱臭）に要する燃料が過大になることや紙などの軽いごみが飛散して排気に混ざるなどの課題がある。

これに対して、もう一つの代表的乾燥方式として蒸気間接伝導加熱方式があげられる。この方式は蒸気の凝縮潜熱を用いるために、100～200℃の低温においても大きな交換熱量を得られるというメリットがある。したがって、原料が分解して塩素分やダイオキシンなどを発生させることがない。また、乾燥機からの排気量が少ないというメリットがある。これは、脱臭を要する乾燥機排気が、原料から蒸発してきた水蒸気と蒸発水分を運ぶ必要最小限のキャリア空気だけであるために、直接熱風式に比べて脱臭に必要な排気ガスが少ないためである。なお、キャリア空気量は、原料表面における水蒸気分圧や蒸発ガス成分の分圧を下げ、蒸発のための駆動力を確保することと、乾燥機排気の排気系統での結露を防止するために設定する露点温度により決定する。さらに、排気の大半が水蒸気となるため乾燥機内の酸素濃度を低下させることができ、発火を抑制できるというメリットがある。

2.4 プラント内の有効エネルギー利用について

熱分解ガス化改質システムの原料の乾燥方式として、直接熱風加熱方式と間接伝導加熱方式との2方式を導入すると想定した場合の、プラント内で発生する合成ガス（燃料）消費量のケーススタディーを実施した。原料は一般廃棄物とし、高質ごみ（含水率40%）と低質ごみの（含水率60%）の2ケースで検討を行った。それぞ

れのシステム系統を Fig. 4 に示す。直接熱風加熱方式では、熱風発生用の燃焼炉は乾燥排気の脱臭炉を兼ねた構成とし、熱風温度を約400℃として検討した。間接伝導加熱方式では、系統内の排熱で生成した蒸気を熱源として用いる構成とする。両方式を比較検討した結果を Table 1 に示す。直接熱風加熱式では、ごみと接触する風量が大きく、かつそのための燃焼脱臭を行うための燃料としての合成ガス消費量が大きくなる。特に低質原料の場合の直接熱風加熱方式では、発電用に使える合成ガスはほとんどなくなる。

一方、間接伝導加熱式の場合は、系統内で発生した蒸気を加熱源として用いることから、乾燥のために合成ガスを消費しない。また、乾燥機からの排気の内訳はキャリア空気と水蒸気であるが、出口排気条件を80℃飽和と設定した場合には、蒸発水分が凝縮しないためには、所定蒸発水蒸気量に対して、空気量：水蒸気量≒1：1となる空気量しか必要とならない。したがって熱風式に比べて排気量が半分以下となり、脱臭のために必要な合

Fig. 4 System flow of drying system

Table 1 Comparison of synthesis gas consumption rate between drying method %

Waste condition	Lower heat value waste		Higher heat value waste	
	Direct heating with hot gas	Indirect heating with steam	Direct heating with hot gas	Indirect heating with steam
Pyrolysis kiln heat	27.5	27.5	27.4	27.4
Dryer heat	28.2	0.0	5.2	0.0
After burner fuel	C36.8	17.8	19.1	7.9
Boiler fuel	0.0	13.1	0.0	0.0
Gas engine fuel	7.5	41.7	0.0	64.7

成ガス量が少なく済む。排水処理の可能な設備が活用できるならば、乾燥排気中の水蒸気を凝縮して排水処理設備に送水することにより、乾燥機排気ガス量はさらに小さくなり、脱臭炉の負荷を低減させることができる。下水汚泥のガス化や炭化を行う場合には、排水処理設備の活用が可能である。

以上の検討結果により、熱分解ガス化改質システムとの組み合わせにおいては蒸気間接伝導加熱方式乾燥機を採用することが有効であると考える。

3. 実証プラントにおける乾燥機の試験検証

蒸気間接加熱式の乾燥機を採用した一般廃棄物（都市ごみ）の熱分解ガス化改質プラントのシステムフローを Fig. 5 に示す。原料である都市ごみは前処理設備にて粗破碎され磁選機で鉄類が取り除かれる。破碎設備では 75×75 mm の矩形型のメッシュフィルタが設置されており、このフィルタを通過したごみだけが乾燥機に投入され、メッシュを通らないごみは再び破碎機に戻される。乾燥機にて乾燥されたごみは、間接加熱式のロータリーキルン式の熱分解炉（550℃）で低酸素濃度雰囲気にて熱分解ガスと熱分解残渣に分離される。熱分解ガスは、ガスクラッカ（1,100℃）で低分子化された改質ガスとなった後、ボイラ 1（ガス冷却ボイラ）にて 200℃ に急冷される。この後にガス洗浄装置（バグフィルタ、湿式スクラバ、脱硫装置）を経由し可燃分として一酸化炭素、水素を主成分とする清浄な燃料ガス、すなわち合成ガスを取り出す。このようなシステムの実証試験において、35 日間の連続運転を含む延べ 100 日以上の実証運転を

実施した。

3.1 乾燥機システム概略

Fig. 5 に示すとおり、本プラントにおいては熱分解炉の加熱に用いた後の燃焼排ガスの熱量を、ボイラ 2（熱分解炉燃焼排熱回収ボイラ）により回収して蒸気を発生させている。また、改質ガスの急冷過程において発生する熱もボイラ 1（ガス冷却ボイラ）にて回収して蒸気を発生させており、2つのボイラで発生した蒸気を合わせて乾燥機の熱源として用いる構成としている。

加熱用の蒸気は、減圧弁により適当な圧力に調整された後に乾燥機内部の伝熱管内部に供給されて伝熱管外部のごみを間接的に加熱した後、乾燥機内部で完全に凝縮した後に外部に排出される。乾燥機内部でごみから蒸発した水分は、乾燥機ごみ入口部から流入する空気（キャリア空気）に運ばれて乾燥機排気ラインへと排出され、集塵機を経由して排ガスファンにより燃焼炉へと導かれる。この時に乾燥機の排気は、その露点温度が 80℃ 以下となるように排気ファン手前の流量コントロールバルブで排気流量を変化させてキャリア空気の流量を調整する。すなわち、排気中の水分量が大きくなり露点が上がるとキャリア空気を多くして露点を下げる。一方、乾燥機内部での発火防止、および排気の燃焼処理に要する燃料を最小化するためにキャリア空気流量は最小限となるようにする。すなわち、排気中の水分量が少なくなるとキャリア空気の量を絞り、適正な露点となるようにする。排気配管には排気温度が温度降下して露点温度以下とならないようにするために、蒸気による加温を施して断熱性を高めている。

Fig. 5 System flow diagram of the 10 ton/d demonstration plant

Fig. 6 Schematic view of the waste dryer system

Table 2 Specification of dryer

Input material	Municipal waste Water content : 23.8~74.0% Size : Under rect. 75×75 mm
Required specification of dryer	Capacity of facility : 10 ton/day Output waste moisture : 10%
Dryer type	Steam tube dryer (rotary drum) Material residence time : 60 min
Heat transfer surface area	236 m ²
Steam condition	0.1 to 0.3 MPa Saturation temperature

3.2 乾燥機の仕様

乾燥機の形式は回転ドラム形式で、ごみの連続処理を行うものである。乾燥機の内部には伝熱チューブを配置して蒸気をその内側に供給し、一定圧力の元でチューブ壁面を介して熱伝導によりごみへの加熱が行われる。Fig. 6 には乾燥機概略図を示し、Table 2 に乾燥機の仕様を示す。乾燥機における加熱温度が 200℃ 以下となるように、本実証試験においては 0.1~0.3 MPa 飽和の蒸気条件にて乾燥機の加熱を行った。

4. 試験結果

4.1 投入ごみ質

本実証試験における実際の供試ごみ質の分析結果を Table 3 に示す。ごみ含水率 23.8~74.0% までの広範囲のごみを処理した。Fig. 7 には、投入したごみ含水率と

その時の 1 日あたりのごみ処理量を示した。図中の破線の交点は、設計ごみ質（基準ごみ、低質～高質ごみ）を表す。また入口のごみ含水率に対して、所定の含水率まで乾燥を行うことのできる処理量を実線で示した。

Fig. 7 Water content of waste used and capacity of treatment (Water content is expressed in wet basis)

Table 3 Analysis data of input waste

	Three components (wt%)			Combustibles (wt%)						LHV (kJ/kg)
	water	ash	volatile	C	H	N	O	S	Cl	
Max	74.0	10.9	70.7	53.9	8.2	1.63	36.6	0.08	0.97	14300
Min	23.8	1.9	21.5	45.0	6.5	0.34	26.2	0.02	0.38	3230
Ave	41.9	5.9	52.2	50.2	7.3	0.75	31.0	0.05	0.61	10000

4.2 乾燥性能

乾燥機出口ごみは、試験の全期間にわたり一定時間おきにサンプリングを行い、赤外線加熱乾燥質量測定方式により含水率測定を行った。Fig. 8には、実証試験分析により計測した入口ごみ含水率を横軸にとり、その時の乾燥機出口ごみ含水率を縦軸にプロットした結果を示す。図中に示した実線は、ごみ処理量を 10 ton/d とした場合の設計性能曲線で、プラント内で発生する蒸気の熱量を用い、放熱損失を 12% と想定して原料を乾燥した場合の、乾燥機出口での原料の含水率を算出したものである。本乾燥機においては、10 ton/d 処理時に入口ごみ含水率が 60% を越えると、出口でのごみ含水率が一直線に上昇する。これは、本乾燥機におけるごみから蒸発させられる水分量の上限を示すものである。

伝導加熱式乾燥機の性能は、以下のように表すことができる。

$$Q = U_k \cdot A_k \cdot \Delta T_m \quad (1)$$

ここで、 Q ：交換熱量 (W)、 U_k ：総括熱伝達係数 ($W/K \cdot m^2$)、 A_k ：伝熱面積 (m^2)、 ΔT_m ：材料と伝熱

Fig. 8 Relationship between water content of inlet waste and that of waste of dryer

Fig. 9 Measured overall heat transfer coefficient between steam and waste

面の出入口温度から算出する対数平均温度差である。Fig. 9には、加熱蒸気-ごみ（キャリア空気含）間の総括伝熱係数の測定値を示す。ごみの持ち込みエネルギー（投入量×ごみ低位発熱量）の大小に関わりなく総括伝熱係数は、ほぼ一定の値を示す。乾燥機内でのごみの挙動（流動状態、滞留時間等）を等しい条件となるようにすれば、この総括伝熱係数を用いて乾燥機のスケールアップ設計や蒸気条件を変化させた時の性能予測が可能となる。

4.3 乾燥機排気の分析結果

Table 4には、実証試験における乾燥機排気中のダイオキシン類の分析結果を示す。表に示したとおり、乾燥機排気中のダイオキシン類濃度は極めて小さく、たとえば RDF 施設における熱風式乾燥機（ガス温度入口 320℃、出口 150℃）などでの排気中のダイオキシン類濃度¹¹⁾よりも一桁小さい値となっている。

4.4 熱利用状況

本実証プラントにおいては、改質ガスの急冷を行うボイラ 1（ガス冷却ボイラ）とボイラ 2（熱分解炉燃焼排ガス排熱回収ボイラ）の 2つのボイラで発生した蒸気を合わせて乾燥機の熱源として用いる構成としている。Fig. 10には、ごみの持ち込み熱量に対する乾燥機必要蒸気量を破線で示し、また 2つのボイラで発生する蒸気量の合計を線形近似したものを実線で示した。2つのボイラで発生する蒸気量はそれぞれプロットで示してある。ごみ質が低質になるほど乾燥機必要蒸気量は大きくなり、その一方でボイラの発生蒸気量は減少する。ごみ質が 2つの線の交点よりも低質側になると、プラント内部で発生する蒸気による運転ができなくなり、追い焚きによる加熱が必要となる。本実証プラントにおいては、基準ごみ質では、ほぼプラント内発生蒸気により乾燥熱源を賄うことができた。大型の実用機においては実証プラントに比べて相対的に熱損失が小さくなるため、有効に活用できる蒸気量の割合が増え、低質のごみであってもプラント内発生蒸気により乾燥を行うことができると考えられる。

Table 4 Analysis of dryer exhaust gas

DXN _s	ng-TEQ/m ³ _N
Total PCDD _s	0.001
Total PCDF _s	0.025
Total Co-PCB	0.006
Total (PCDD _s +PCDF _s +C _o -PCB)	0.032

PCDD_s : Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins

PCDF_s : Polychlorinated dibenzofurans

Co-PCB : Coplanar polychlorinated biphenyls

Fig. 10 Required steam flow rate for dryer

5. ま と め

バイオマス資源や汚泥を含むごみ等の資源など各種有機資源を活用する熱化学的変換の中で熱分解ガス化改質方式に注目し、このプロセスを含水率の高い原料へ適用するために蒸気間接加熱方式の乾燥機との組み合わせについて検証した。検討にあたっては原料として都市ごみを対象としてケーススタディならびに実証試験を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 蒸気間接伝導加熱方式による乾燥は、直接熱風乾燥に比べてプラント外部に供給可能な合成ガスの流量が大きくできる。
- (2) 0.1～0.3 MPa 飽和の比較的低温での加熱で高い乾燥性能を確認した。また乾燥機排気中のダイオキシン類濃度が十分に小さいことを確認することができた。実証施設 (10 ton/d) のような小型のプラントであっても、プラントで発生する余熱を蒸気に変換して、基準ごみ質のごみ乾燥の加熱源として有効に利用できた。相対的に熱損失の小さくなる大型の実用機においては、低質ごみの乾燥をもプラント内余熱で賄うことができると推定される。
- (3) 実証試験における乾燥機の熱の授受から、伝熱面と原料との間の総括熱伝達係数を求めた。これにより、スケールに応じた設計が可能となる。

参 考 文 献

- 1) 御新エネルギー・産業技術総合開発機構編：バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第2版), NEDO, pp. 28-33 (2005)
- 2) 小林信介, 田中未来, 朴 桂林, 板谷義紀, 波多野重信, 小林 潤, 森 滋勝: 木質系, 草草系バイオマスの熱分解におけるガス種別放出特性, 日本エネルギー学会誌, 第88巻, 第1号, pp.50-57 (2009)
- 3) 今井 正, 山本勝也, 小峰英明: バイオマス資源の高度回収・再利用技術, 東芝レビュー, 第63巻, 第5号, pp.24-27 (2008)
- 4) 坂西欣也: 木質バイオマスのガス化による合成ディーゼル燃料の製造, 産総研 TODAY, 第6巻, 第3号, pp.4-5 (2006)
- 5) 野間 毅, 井手勝記, 今井 正, 小城和高, 今井 潔, 雨宮 隆: 熱分解ガス化改質プロセスを用いた先進型廃棄物発電システムの開発, 日本機械学会論文集 (B 編), 第75巻, 第753号, pp.1151-1156 (2009)
- 6) 林野庁編: 事例 I-5 木質バイオマスからのナノカーボン製造システムの構築, 森林・林業白書 (平成21年版), p.32 (2009)
- 7) 古賀洋一, 遠藤雄樹, 大貫 博, 加倉田一晃, 甘利 猛, 小瀬公利: 下水汚泥炭化燃料製造とバイオマス発電利用への取り組み, 三菱重工技報, 第44巻, 第2号, pp.43-46 (2007)
- 8) 野間 毅, 中島 良, 金井康晴, 松井 宏, 雨宮 隆: 蒸気間接加熱式都市ごみ乾燥機の開発, 日本機械学会第11回環境工学総合シンポジウム 2001 講演論文集, pp.179-181 (2001)
- 9) 化学工業社編: 廃プラスチックの有効利用実例集——その積極的利用と用途開発, 別冊化学工業, 第26巻, 第4号, pp.159-172 (1982)
- 10) 化学工学会編: 乾燥, 化学工学便覧 改訂5版, 丸善

併, pp. 655-692 (1988)

11) 政策総合研究所編：循環型社会の構築に向けて「新政

策別冊」次世代型ごみ焼却処理施設の研究開発, 政策
総合研究所, 第1巻, pp. 5-7 (1998)

Evaluation of Drying Methods for Organic Resource Thermochemical Conversion Processes

Tsuyoshi Noma*, Katsuki Ide* and Hiroshi Matsui*

* Water & Environmental Engineering Center, Social Infrastructure
Systems Company, Toshiba Corporation

† Correspondence should be addressed to Kamura :
Water & Environmental Engineering Center, Social Infrastructure
Systems Company, Toshiba Corporation
(1-1-1 Shibaura, Minato-ku, Tokyo 105-8001 Japan)

Abstract

The excess moisture contained in organic resources, including biomass, sewage sludge and garbage, reduces the efficiency of thermal chemical transfer, and interferes with the effective use of these resources in waste treatment systems. However, effective use of waste heat from plants makes it possible to dehydrate these resources.

As a means to solve this problem, this paper describes the specific requirements of the drying process in terms of the drying method and the heating temperature. We have studied the following two drying methods : direct heating by hot gas, and indirect heating by steam.

The drying process requires efficient use of exhaust heat generated in the system. In addition, the emission of harmless gases during the heating process, instead of hazardous gases such as dioxin, is also required. We installed and tested an indirect heat dryer at a demonstration plant featuring a thermochemical conversion (pyrolysis gas reforming and gasification) system for treating municipal solid waste at 10 ton/d. As a result of the test, the high drying performance and the superior harmlessness of the emitted gas was verified and the system was proven to be an excellent waste treatment method.

Keywords : indirect heat steam dryer, gasification, waste heat, biomass